

Innovación tecnológica y conflicto naval en Europa Occidental, 1751-1815

Aportes arqueológicos e históricos al
conocimiento de la metalurgia y sus
aplicaciones en los barcos de guerra

Autor:

Ciarlo, Nicolás C.

Tutor:

Ramos, Mariano S.

2016

Tesis presentada con el fin de cumplimentar con los requisitos finales para la
obtención del título Doctor de la Universidad de Buenos Aires en Antropología

Posgrado

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y CONFLICTO NAVAL EN EUROPA OCCIDENTAL, 1751-1815

Aportes arqueológicos e históricos al conocimiento de la
metalurgia y sus aplicaciones en los barcos de guerra



Por **Lic. Nicolás C. Ciarlo**

Tesis para optar por el título de Doctor en Arqueología
de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires



Directores

Dr. Mariano S. Ramos

Departamento de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Luján

Ing. Horacio M. De Rosa

Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2016

A la memoria de mi abuela Ita (1923-2014),
que dedicó su vida a la familia y me abrigó con su
amor hasta el último día.

Audentes fortuna iuvat

Publio Virgilio Marón, *Enéida* (lib. X, vers. 284)

Índice de materias

Agradecimientos	viii
Siglas y abreviaturas	xiv
Mapas	xv
Prefacio	xix

▪ Primera sección

PRESENTACIÓN, ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y MARCO TEÓRICO-METODOLÓGICO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. CONFLICTO, INDUSTRIALIZACIÓN Y BARCOS DE GUERRA	11
Las potencias europeas y los conflictos navales	
Expansión del comercio a escala global	
Pugnas por el dominio de los mares	
El proceso de industrialización	
La producción artesanal y fabril	
La metalurgia de la época	
El poderío de las armadas	
Los barcos de guerra	
Situación de las flotas	
Cambios en el diseño y la construcción naval	

3. TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN	78
La tecnología: una mirada desde las Ciencias sociales	
Consideraciones iniciales	
Términos, conceptos y teorías	
Tecnología, cultura material y materialidad	
La dinámica de las innovaciones	
La idea tradicional de progreso	
El panteón secular de los inventores	
El espíritu innovador y los hombros de gigantes	
De la idea a la práctica	
El rol del conflicto	
Las ciencias y las artes mecánicas	
4. ARQUEOLOGÍA MARÍTIMA, ARQUEOMETALURGIA Y NAUFRAGIOS HISTÓRICOS	123
Las sociedades y su entorno acuático: una mirada desde la Arqueología	
Delimitación del campo de conocimiento	
Disquisiciones teórico-metodológicas	
Los naufragios y la sociedad de su tiempo	
Múltiples variables y un caleidoscopio de relaciones	
Los materiales y su análisis: la Arqueometría	
Potencial heurístico de una perspectiva interdisciplinaria	
Alcances y limitaciones de los estudios de caracterización	
La Arqueometría y la Arqueología marítima	
Breve reseña de las investigaciones en Argentina	
Los metales del pasado: la Arqueometalurgia	
Nociones introductorias	
Caracterización de artefactos metálicos de naufragios	
5. OBJETIVOS, MATERIALES Y MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN	176
Objetivos	
Propósito y objetivo general de la investigación	
Objetivos específicos	

Los barcos considerados en este estudio

Gran Bretaña

Francia

España

Acerca de los paralelos arqueológicos

Aspectos metodológicos específicos

Notas sobre el sistema de agrupación y clasificación

Fuentes documentales

Métodos e instrumental de análisis de laboratorio

▪ Segunda sección

RESULTADOS Y DISCUSIÓN: ANÁLISIS ARQUEOLÓGICO E HISTÓRICO DE LA TECNOLOGÍA NAVAL

6. EL CASCO DE LOS BARCOS 231

Elementos de sujeción

Partes estructurales y sectores de un casco de madera

Generalidades sobre los pernos y clavos

Materiales

Métodos de producción

Revestimiento de los cascos de madera

Breve reseña histórica

La introducción del forro de cobre

El aforro de los barcos de guerra

Producción de chapas y tachuelas

7. EL EQUIPAMIENTO NÁUTICO 301

Sistema de fondeo

Generalidades sobre las anclas

Las anclas de un barco de guerra

Los modelos europeos: rasgos diagnósticos

Tecnología de producción

Los cambios del nuevo siglo

Sistema de achique

Mantenimiento de un barco a flote

Bombas de sentina

Tubos y válvulas de metal

Sistema de gobierno

La maniobrabilidad de un barco de guerra

El timón de rueda

Los componentes metálicos

8. LA ARTILLERÍA

373

Cañones

Introducción a la materia

Los tratados de artillería

Las ordenanzas navales

Las instalaciones fabriles

El proceso de manufactura de los cañones de hierro

Disposición a bordo y operación de las baterías

Municiones

Características generales

Balas, metralla y bombas

Manufactura

▪ Tercera sección

INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y
CONSIDERACIONES FINALES

9. ESTUDIO COMPARADO DE LA TECNOLOGÍA NAVAL

459

Los cambios invisibles: una mirada desde la Arqueometría

El análisis interdisciplinario

Forjando puentes: datos técnicos e interrogantes sociales

Los naufragios desde una perspectiva arqueo-histórica regional

Las ventajas operativas: velocidad, maniobrabilidad y seguridad

El poder de fuego de las baterías

Comentarios sobre la identificación de los naufragios

Innovaciones tecnológicas en el ámbito naval moderno
 Supremacía marítima y avances técnicos
 La tecnología naval como sistema complejo
 Últimas reflexiones en torno a los factores de cambio

Anexos

1. Glosario de términos navales y metalúrgicos	502
2. Lista razonada de los principales acontecimientos históricos	518
3. Autoridades navales	535
4. Sistemas de pesas y medidas	539
5. Cuestiones específicas de la artillería	543
6. Análisis de muestras de la <i>Swift</i> (1770)	552
7. Análisis de muestras del <i>Triunfante</i> (1795)	583
8. Análisis de muestras del <i>Fougueux</i> (1805)	633
9. Análisis de muestras del <i>Bucentaure</i> (1805)	664
10. Análisis de muestras del sitio Deltebre I (1813)	683
Referencias bibliográficas	764

Agradecimientos

La investigación que exponemos en esta tesis demandó varios años de intensa y apasionante labor, contando las diversas lecturas, los análisis de laboratorio, las reflexiones y discusiones en torno a la materia, y finalmente la escritura del manuscrito. A lo largo de este recorrido, conté con el apoyo y la estima de muchas personas, que de manera desinteresada me brindaron sus conocimientos, materiales de estudio y aliento. El contenido del trabajo en la forma que hoy posee hubiera sido cosa muy distinta sin su favor, y por tal motivo les estoy profundamente agradecido a todas ellas. Me honra poder mencionarlas a continuación.

Mi primer reconocimiento por el trabajo realizado es hacia mis actuales directores, el Dr. Mariano Ramos y el Ing. Horacio De Rosa, y a quien fue mi directora de tesis y beca de posgrado del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) durante los primeros tres años del doctorado (abril de 2011 – marzo de 2014), la Dra. Dolores Elkin.

Mariano me abrió las puertas del Programa de Arqueología Histórica y Estudios Pluridisciplinarios (ProArHEP) de la Universidad Nacional de Luján (UNLu) y depositó su confianza en mí aceptando la dirección de la tesis y de la beca antes mencionada, lo cual me brindó el escenario propicio para culminar la investigación. Le agradezco enormemente el trabajo que le dedicó a la lectura de los capítulos y a la realización de tan esmeradas correcciones y comentarios. Horacio ha sido mi mentor en Arqueometalurgia desde el año 2004, y se ha desempeñado como mi co-director en varias instancias desde el pregrado, incluyendo la presente. En el marco del Grupo de Arqueometalurgia (GAM) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FI-UBA), he tenido la oportunidad de instruirme en el análisis de materiales de diversa procedencia, en especial de naufragios de los siglo

xviii y xix. Su sostén incondicional, que trasciende lo estrictamente académico, fue imprescindible para concretar este trabajo. Dolores, directora del Programa de Arqueología Subacuática (PROAS) del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano (INAPL), me acompañó desde mis primeros pasos en la carrera de grado y durante parte importante de mi formación en Arqueología marítima, que tuve el placer de llevar a cabo como miembro del PROAS durante muchos años. Le agradezco en particular por permitirme utilizar información sobre el sitio *Swift* para el presente trabajo.

A nivel personal, en mi familia encontré siempre el incentivo para no renunciar a mis sueños. Una dedicación muy especial a Analía y Carlos, mis padres, que me dieron las fuerzas e inspiraron para llegar hasta aquí. Y a Ana Castelli, por acompañarme cuando más lo necesité. A mi maestro y amigos de Sipalki, por enseñarme el valor de la perseverancia.

En lo académico, diversas instituciones nacionales e internacionales obraron en pos de mi formación e hicieron posible esta tesis. La Universidad de Buenos Aires volvió a alojarme, esta vez como doctorando, para desarrollar mis estudios. El CONICET me concedió dos becas de posgrado, en 2011 y 2014, gracias a las cuales tuve el privilegio de dedicarme durante tiempo completo a las labores investigativas. Estas me condujeron en más de una oportunidad al exterior, donde realicé estancias de formación académica, trabajos de gabinete y laboratorio en algunos centros de investigación de España, y asistí a eventos académicos para la presentación de algunos resultados parciales. En aquellas ocasiones, conté con el apoyo financiero de las siguientes instituciones: la UNESCO (beca de viaje para la realización del Curso Internacional de Arqueología Subacuática UNESCO-España, 2011, Cartagena, España), el Advisory Council on Underwater Archaeology, EE.UU. (mediante el *2013 ACUA George Fisher Student Travel Award*, para asistir al *46th Annual Conference on Historical and Underwater Archaeology*, Leicester, Reino Unido) y la Society for Archaeological Sciences, EE.UU. (por medio del *2013 SAS Student Research International Travel Award*, destinado a desarrollar estudios de laboratorio en el Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya (CASC), Girona, España).

Varios proyectos de investigación, dentro de los que me desempeñé como becario, sirvieron de marco general para el desarrollo de los análisis de laboratorio:

Proyecto UBACyT (20020090100117) *Arqueometría del patrimonio cultural: desarrollo de tecnologías para la caracterización de materiales de sitios arqueológicos*, 2010-2012, bajo la dirección de la Dra. Cristina Vázquez (Comisión Nacional de Energía Atómica —CNEA— y FI-UBA); Proyecto UBACyT (20020120200108BA) *La innovación tecnológica asociada a los revestimientos metálicos de los barcos de madera (Europa occidental y contextos de ultramar, 1764-1850)*, 2013-2015, bajo la dirección del Ing. De Rosa (FI-UBA); y los proyectos de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica PICT (2006-2130) *Investigación arqueológica del naufragio de la corbeta Swift (1770), provincia de Santa Cruz*, 2008-2011, y PICT (2012-1282) *Arqueología de naufragios históricos en la región de Península Valdés, Provincia de Chubut*, 2013-2016, ambos bajo la dirección de la Dra. Elkin (CONICET – INAPL). Algunos estudios se llevaron a cabo gracias al subsidio *Coghlan Bequest* (otorgado a quien suscribe por la Historical Metallurgy Society, Reino Unido, 2012) y a la colaboración del Sr. Andrés Boero, presidente de la empresa ABS Corp.

En España, numerosos colegas me recibieron con los brazos abiertos y brindaron plena confianza para emprender los análisis de los materiales que aquí se exponen. No exagero al decir que este trabajo no hubiera sido posible sin su generosidad. Al Dr. Gustau Vivar Lombarte, director del Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya (CASC) del Museu d'Arqueologia de Catalunya (MAC), y a Rut Geli Mauri, por su inmensa generosidad. Les agradezco el haberme invitado al Centro y hospedado en su casa en tres oportunidades, compartido la información histórica y arqueológica de los sitios *Triunfante* (1795) y *Deltebre I* (1813), y facilitado una serie de muestras de diversos artefactos recuperados de estos naufragios. A la Dra. Carmen García Rivera, directora del Centro de Arqueología Subacuática de Andalucía (CAS) del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico (IAPH), por la posibilidad de realizar allí dos breves estancias de investigación. A su equipo, y muy especialmente a las arqueólogas Milagros Alzaga García, Nuria Rodríguez Mariscal y Josefa Martí Solano (Pepa), quienes gentilmente me brindaron los reportes finales y otra información —por aquel entonces no publicada— sobre las investigaciones realizadas en los sitios *Camposoto (Fougueux, 1805)* y *Chapitel (Bucentaure, 1805)*, así como las muestras de algunas piezas de metal extraídas de ambos sitios. Agradezco también al Dr. Xavier Nieto

Prieto, ex-director del Museo Nacional de Arqueología Subacuática (ARQUA), sito en Cartagena, por permitirme trabajar en la biblioteca de la institución. Extiendo el agradecimiento al personal de estas instituciones y a Kiko Bañuelos, por su gran hospitalidad.

El compromiso de muchas personas hizo posible que llegara a cumplir con los análisis programados. Dentro del GAM, me brindaron desinteresadamente su ayuda en numerosas oportunidades, y tuve además el placer de trabajar a su lado: Ariel López, María Lucchetta, Pablo Marino, Marcela Pichipil, Marina Rañi y Hernán Svoboda. En el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), conté con el apoyo de los siguientes profesionales: del Centro de Mecánica, donde se realizaron los análisis de SEM-EDS, Ing. Hernán Lorusso, Lic. Gisela Maxia, Stra. Mercedes Pianetti e Ing. Jorge Pina; del Centro de Plásticos, Ing. Nora Schicchi; y del Centro Regional Córdoba, Lic. Graciela Pandolfi. En la CNEA, la Dra. Cristina Vázquez llevó a cabo los análisis de fluorescencia de rayos X. Extiendo el agradecimiento al resto de los miembros y a las autoridades de los laboratorios de investigación que siguen a continuación: Laboratorio de Materiales del Departamento de Ingeniería Mecánica de la FI-UBA, Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido del Departamento de Mecánica del INTI, y Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X de la Gerencia Química de la CNEA, por facilitar el marco institucional para realizar las investigaciones. Parte importante de los análisis fueron hechos dentro del marco de colaboración entre la FI-UBA y el INAPL, por un lado, y entre la primera y el INTI, por el otro. De Puerto Deseado, Santa Cruz, agradezco a Mauricio Devito, que llevó a cabo los estudios de radiografía y radioscopía de los artefactos de la *Swift*.

En la tesis consideramos, junto con los resultados de los análisis anteriores, los datos recabados del estudio de objetos metálicos de otros naufragios. La información de estos últimos se obtuvo, en parte, de publicaciones especializadas e informes internos que fueron suministrados por los investigadores responsables de cada proyecto o línea de trabajo particular. Por confiarme este material comparativo les estoy muy agradecido a las siguientes personas: Dr. Manuel Bethencourt (Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz, España); Dr. Mike McCarthy (Western Australian Maritime Museum —WAMM— Australia), Myra Stanbury (Curadora del WAMM, Australia) y Dr. Ian MacLeod (WAMM, Australia).

Otros profesionales atendieron a mis consultas y compartieron sus experiencias, conocimientos y material bibliográfico sobre diversos temas de relevancia para la investigación: Dr. Marc André Bernier (Underwater Archaeological Services, Parks Canada, Canadá), Dr. Johan Bratberg (Thermo-Calc Software AB, Estocolmo, Suecia), Lic. Diego Carabias (ARKA Consultores, Chile), Dr. Kevin Crisman (Center for Maritime Archaeology and Conservation, Texas A&M University, EE.UU.), Dr. Paul Craddock (British Museum, Inglaterra), Lic. Juan Antonio Díez-Aja (Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, España), Berta Gasca Gimenez (Museo Naval de San Fernando, Cádiz, España), David F. Harding (Inglaterra), Dr. Matthew Harpster (Institute of Nautical Archaeology, Bodrum, Turquía), Dr. Peter King (Inglaterra), Dr. Marcos Martín Torres (Institute of Archaeology, University College London, Inglaterra), Dr. Chuck Meide (Lighthouse Archaeological Maritime Program, EE.UU.), Dr. Peter Northover (Departamento de Materiales, Universidad de Oxford, Inglaterra), Dra. María de los Ángeles Pérez Bonet (ARQUA, España), Prof. Mark Pollard (School of Archaeology, University of Oxford, Inglaterra), Dr. Gustavo Sanz Palomera (Servicio de Patrimonio Cultural, Consejería de Educación, Cultura y Deporte de Cantabria, España), Dr. Jesús Setién (Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, España) y Dr. Steven A. Walton (Department of Social Sciences, Michigan Technological University, EE.UU.).

Muchas de las imágenes expuestas en el escrito pertenecen al acervo documental de diversas instituciones y centros de investigación. Estoy agradecido por haberme permitido hacer uso de ellas, en especial a sus respectivos integrantes, con quienes estuve en contacto por tal motivo: Sra. Isabel Aguirre Landa (Archivo General de Simancas, España), Mag. Brigitte Brandstetter (The Princely Collections, Liechtenstein Museum, Viena, Austria), Hugo Chapman (Curador del Department of Prints and Drawings, British Museum, Inglaterra), Dr. James P. Delgado (Maritime Heritage Program, National Oceanic and Atmospheric Administration, EE.UU.), Sr. Daragh Kenny (The National Gallery, Londres), Sra. Emma Lefley (National Maritime Museum, Royal Museums Greenwich, Londres), Nathan R. Lipfert (Maine Maritime Museum, Maine, EE.UU.), David Rumsey (Cartography Associates, California, EE.UU.), Mag. Marianne Wacquez (Curadora

del Museo Nacional de Bellas Artes, Chile). Extiendo el agradecimiento al personal de la National Portrait Gallery (Londres) y el Tate (Londres). Las láminas de *La Enciclopedia* de Diderot y d'Alembert fueron obtenidas de la página del *ARTFL Encyclopédie Project* de la Universidad de Chicago, editado por Robert Morrissey (<http://encyclopedie.uchicago.edu>). Cristian Perfumo (Puerto Deseado, Santa Cruz) me envió imágenes de algunas de las anclas exhibidas en el Australian National Maritime Museum. Helena Barba Meinecke (Campeche, México) compartió conmigo información sobre varios sitios del siglo XVIII de México y me permitió utilizar la imagen del ancla del sitio Ánimas de la Victoria. Víctor A. Pagano me auxilió reiteradas veces con el programa de diseño que utilicé para elaborar muchas de las ilustraciones. La ilustración de tapa está basada en la lámina *Vignette for 'Ports of England'*, realizada por J. M. W. Turner en 1825 (The Fitzwilliam Museum, Universidad de Cambridge, Reino Unido).

Mis compañeros buzos y amigos, con quienes compartí incontables experiencias profesionales y personales como miembro del PROAS, me acompañaron durante años, y fueron un sustento para sobreponerme de tiempos tempestuosos. Por ello, un agradecimiento especial a: Amaru Argüeso, Mónica Grosso, Guillermo Gutiérrez, Cristian Murray y Chris Underwood. Más recientemente, estuvieron también a mi lado los integrantes del ProArHEP, a quienes extiendo mi gratitud por su cálido recibimiento y compañerismo diario.

A mis colegas y amigos arqueólogos, con quienes he transitado tanto camino: Jimena Alberti, Luis Coll, Carlos Landa, Emanuel Montanari, Catriel Greco, Patricia Pérez Mazzone, Virginia Pineau, Ana Clara Scambato y Julio César Spota. Y no puedo dejar de mencionar a mis profesores y compañeros del posgrado en Epistemología e Historia de la ciencia de la Universidad Nacional de Tres de Febrero. Las profundas reflexiones teóricas fueron un estímulo importante para mi formación profesional y me brindaron herramientas para analizar varias de las cuestiones que trabajé en la tesis.

A todos ellos, ¡muchas gracias!

Siglas y abreviaturas

AAS	Espectrometría de absorción atómica [<i>Atomic Absorption Spectrometry</i>]
CAS-IAPH	Centro de Arqueología Subacuática, Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico
CASC-MAC	Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya, Museu d'Arqueologia de Catalunya
CNEA	Comisión Nacional de Energía Atómica
CONICET	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
EDS	Espectroscopia de rayos-X dispersiva en energía [<i>Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i>]
GAM-FIUBA	Grupo de Arqueometalurgia, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
HV	Dureza Vickers [<i>Hardness Vickers</i>]
ICP-AES	Espectroscopia de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente [<i>Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry</i>]
ICP-MS	Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente [<i>Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry</i>]
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial
NMM	National Maritime Museum (Londres)
OES	Espectroscopia de emisión óptica [<i>Optical Emission Spectroscopy</i>]
OM/LM	Microscopía óptica [<i>Optical / Light Microscopy</i>]
PROAS-INAPL	Programa de Arqueología Subacuática, Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano
SEM	Microscopía electrónica de barrido [<i>Scanning Electron Microscopy</i>]
UBA	Universidad de Buenos Aires
XR	Radiografía [<i>X-ray Radiography</i>]
WDXRF	Fluorescencia de rayos-X de dispersión por longitud de onda [<i>Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence</i>]

Nota: en la lista figuran únicamente las más utilizadas a lo largo del escrito.

Mapas

Los mapas presentados a continuación fueron realizados para la ocasión por parte de Luis Coll, arqueólogo especialista en GIS, a quien le estoy sumamente agradecido. En estas ilustraciones figuran los principales lugares de Gran Bretaña, Francia y España que son mencionados a lo largo de la tesis, en particular las ciudades y accidentes geográficos, bases navales, arsenales y astilleros, minas, y fábricas de cañones y anclas.

La ubicación de cada una de las localidades fue definida a partir de la georreferenciación de mapas históricos realizados por el geógrafo Thomas Kitchin. El mapa de Gran Bretaña fue publicado en *A new universal atlas, exhibiting all the empires, kingdoms, states, republics, &c. &c. in the whole World* (Kitchin et al. 1804), mientras que los de Francia y España, en *A general atlas, describing the whole universe: being a complete collection of the most approved maps extant* (Kitchin 1790 a y b). Las imágenes en alta resolución de estos mapas se obtuvieron de la página web de David Rumsey Historical Map Collection, ©2010 Cartography Associates (www.davidrumsey.com).

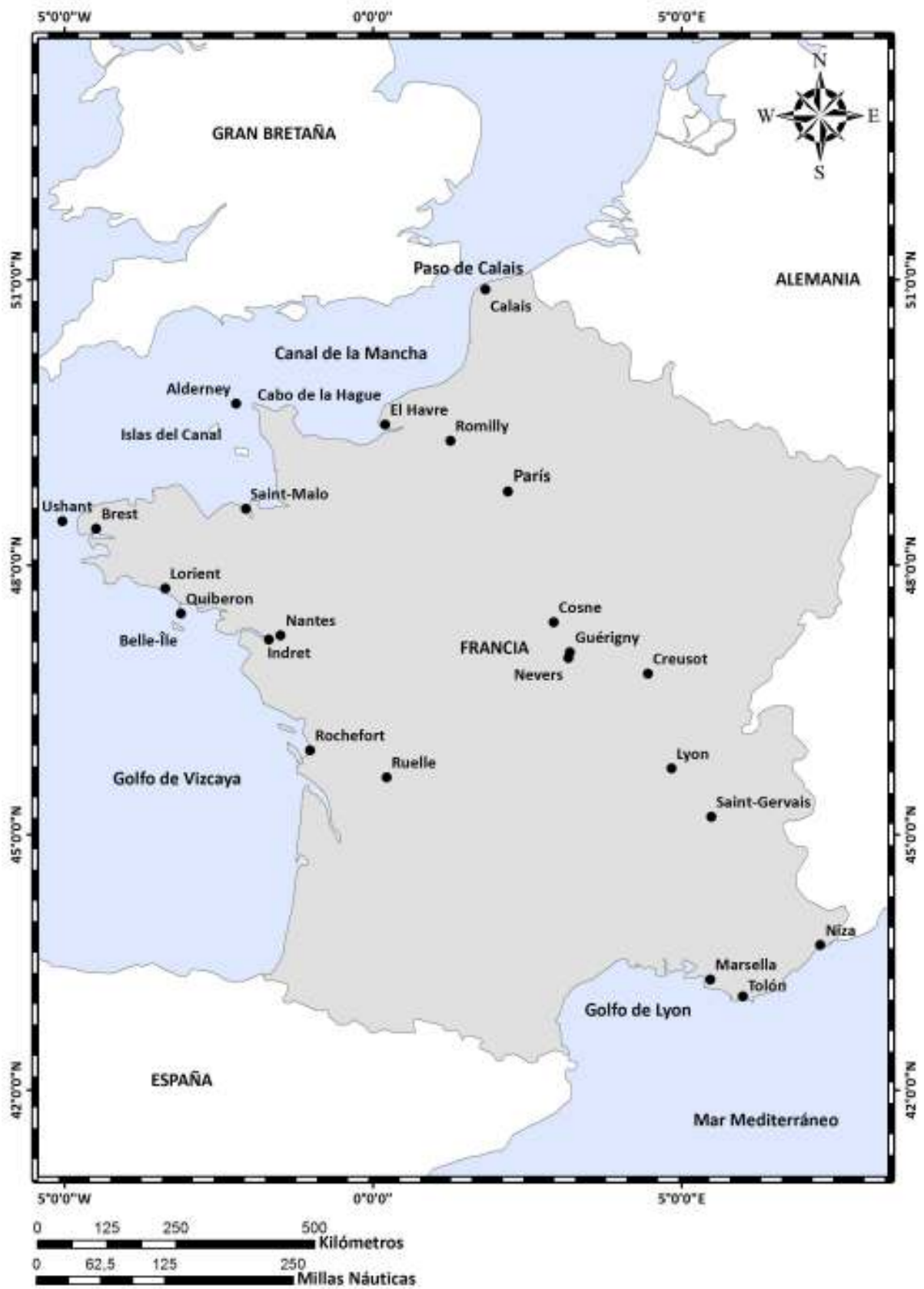
Las capas bases que representan los límites actuales de los respectivos países fueron adquiridas de la página web de Divas-GIS, de acceso libre y gratuito (www.diva-gis.org/gdata).

Mapa 1 - Gran Bretaña.

Mapa 2 - Francia.

Mapa 3 - España.







Prefacio

En esta tesis expongo los resultados del trabajo de investigación para optar por el grado de Doctor en Arqueología de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires. El estudio fue desarrollado entre abril de 2011 (la resolución de inscripción al doctorado No. 4123 lleva la fecha 10 de julio de 2012) y febrero del corriente año, bajo la dirección actual de los profesores Dr. Mariano S. Ramos (Departamento de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Luján) e Ing. Horacio M. De Rosa (Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Buenos Aires). La Dra. Dolores C. Elkin (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) se desempeñó como directora de tesis durante el período comprendido entre el inicio de actividades y marzo de 2014, mientras que el consejero de estudios designado por el Consejo Directivo de la facultad fue el profesor Dr. Luis González (Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires).

En la misma casa de estudios fue donde también realicé mi formación de grado, con una tesis de licenciatura sobre arqueometalurgia de la corbeta de guerra *HMS Swift*, naufragada en la ría Deseado, Provincia de Santa Cruz, en 1770, bajo la dirección de la Dra. Elkin y el Ing. De Rosa. En función de los resultados obtenidos, decidí por aquel entonces continuar indagando sobre la tecnología metalúrgica que se empleaba en el ámbito naval europeo, dentro de un contexto de industrialización emergente. Era crucial, en esta nueva instancia, ampliar la escala de análisis e incorporar una serie de sitios de diversa procedencia que cubren un período temporal entre mediados del siglo XVIII y principios del siglo XIX. Abordé la realización del presente estudio con el desafío de explotar el potencial que brindan las investigaciones a nivel comparativo, articulando la cuantiosa información disponible acerca de naufragios particulares, distribuidos alrededor del globo. Este

objetivo ya había sido señalado en otras oportunidades por muchos investigadores dentro del campo de la Arqueología marítima.

Los primeros años consagré parte del tiempo a mi formación en Epistemología e Historia de la Ciencia (en la Universidad Nacional de Tres de Febrero), cuyos seminarios contribuyeron para que me planteara algunos de los interrogantes que aquí incluyo, a la vez que marcaron la orientación teórica y el contenido histórico de la tesis. Asimismo, dediqué un espacio importante a los análisis físico-químicos de materiales procedentes de naufragios, tarea a la que estaba abocado desde hacía varios años. Su relevancia, quiero resaltar, yace en la posibilidad que brindan para estudiar aspectos específicos de la tecnología y para evaluar cuestiones que otras fuentes de información y los estudios convencionales de materiales no permiten abarcar. Así, mediante la vinculación de los datos obtenidos a partir del análisis histórico y arqueológico de naufragios—incluyo los resultados publicados por otros investigadores— desarrollo algunos de los diversos cambios que experimentaron los barcos de guerra de las principales potencias marítimas de Europa del período considerado.

A lo largo de este trabajo de investigación podrán encontrarse algunas contribuciones de carácter novedoso, pero la tesis requiere ser leída en clave de propuesta. En otras palabras, abrimos la puerta hacia un camino de enorme potencial para profundizar el conocimiento disponible sobre los procesos de innovación tecnológica en el mundo moderno, que será necesario recorrer de manera conjunta entre diversos especialistas.

Nicolás C. Ciarlo

Ciudad de Buenos Aires, enero de 2016

PRIMERA SECCIÓN

PRESENTACIÓN, ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y
MARCO TEÓRICO-METODOLÓGICO

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

Si intentáramos describir mediante un vocablo al Mundo Moderno, ese sistema global que se gestó hacia el siglo xv en Europa, es probable que entre las opciones más resonantes nos topemos con la noción de innovación. Pocas evidencias nos muestran una imagen quiescente; en lugar de ello, las palabras de aquel griego “todo se mueve y nada permanece”, evocadas en el *Crátilo* de Platón, cobran especial sentido en dicho escenario. Los procesos de cambio acaecidos a lo largo de la historia moderna suscitaron extensas reflexiones e investigaciones en diversos campos del conocimiento, en especial dentro de las ciencias sociales y humanas. La cuestión de las innovaciones tecnológicas, tema central del que nos ocuparemos en esta tesis, constituye una de las aristas más intrigantes y a la vez enrevesadas del asunto. Dadas las características que presenta la materia escogida, y a fin de alcanzar un conocimiento más exhaustivo, esta requiere ser abordada desde la óptica de diversas especialidades.

Con este espíritu, y sobre la base de un recorte de la realidad en cuestión, i.e. los elementos operativos de los barcos de guerra empleados por las principales

potencias europeas (Gran Bretaña,¹ Francia y España), analizaremos algunos de los cambios ocurridos dentro del ámbito naval entre mediados del siglo XVIII y principios del siglo XIX.

*

Escogimos un marco espacial y temporal de particular relevancia para el análisis de las innovaciones tecnológicas. Los años transcurridos entre 1751 y 1815 estuvieron signados por recurrentes conflictos armados entre Gran Bretaña, Francia y España, de una intensidad y extensión notables, que coincidieron además —no es casualidad— con una transformación industrial sin parangón en la historia transcurrida hasta entonces, i.e. los comienzos de la denominada Revolución Industrial. Analizar la dinámica que definió los cambios acaecidos en aquel contexto, yace en las bases directrices del trabajo al que aquí nos abocamos. A los fines de la investigación, optamos por un lapso de tiempo que está delimitado por dos circunstancias históricas relevantes; la primera, vinculada con el conocimiento teórico-práctico de la época, es la aparición del primer volumen de la *Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une société de gens de lettres* (L'Encyclopédie, de aquí en más La Enciclopedia), obra colosal que se publicó entre 1751 y 1772 y que estuvo a cargo de Denis Diderot y Jean le Rond d'Alembert; la segunda, de índole fundamentalmente político-económica, es la batalla de Waterloo, cuyo desenlace derivó al poco tiempo en la rendición del emperador de los franceses, Napoleón Bonaparte. Este recorte particular no nos impedirá, sin embargo, remitirnos a momentos previos. De hecho, es una operación necesaria, ya que allí encontraremos muchos de los antecedentes de las innovaciones que habrían de florecer décadas más tarde, y que dan cuenta de la extensión y continuidad de los procesos en cuestión.

¹ A lo largo del texto, por lo general haremos referencia a Gran Bretaña, territorio insular y entidad política (formalmente desde 1707) que comprende tres naciones: Inglaterra, Gales y Escocia. No obstante, la mayor parte de los sucesos de particular interés están estrechamente ligados con la historia de la primera.

Podremos apreciar que durante este tiempo la industria, el comercio y la guerra constituyeron una tríada casi permanente. Las diversas relaciones que se establecieron entre estos ámbitos a diferentes niveles y escalas, han motivado desde temprano numerosas reflexiones en el marco de las Ciencias sociales. La complejidad aneja al caso —que, como veremos, encierra un enorme potencial— requiere necesariamente de una aproximación analítica que está más allá de las herramientas de que dispone una especialidad en particular, y por ello ninguna tiene prerrogativa exclusiva sobre el tema. Frente a esta situación, consideramos favorable abreviar en una perspectiva interdisciplinaria, pero sin dejar de hacer hincapié en los aportes que se pueden realizar desde cierto campo del conocimiento (en nuestro caso, la Arqueología), en función de las evidencias, metas y aproximación teórico-metodológica involucradas en la investigación.

Respecto de nuestro quehacer en particular, podemos identificar influencias de diversa procedencia. El presente trabajo se enmarca en esencia dentro de dos especialidades: por un lado, la Arqueología marítima y naval; y por el otro, la Arqueometalurgia. Asimismo, sus implicancias se extienden a otros ámbitos, tales como la Historia marítima, la Historia de la tecnología, la Arqueología histórica y la Arqueología del conflicto. Los naufragios son en la actualidad el objeto de investigación por excelencia de la primera, que se ocupa del estudio del ser humano y su relación con el medio acuático, y que incluye las operaciones en tierra a este vinculadas. Los trabajos realizados en este terreno han contribuido extensamente al conocimiento de múltiples aspectos relativos a los barcos y su contexto tecnológico, económico, político e ideológico. Esta especialidad busca hoy en día expandir sus horizontes hacia áreas aún poco desarrolladas.

La prolífica producción académica deja entrever el potencial de una aproximación que debe ser explorada en mayor extensión y profundidad: el manejo integral de la evidencia proveniente de múltiples sitios (Catsambis et al. 2011:xiii). Esta tarea permitirá abordar ciertos temas que trascienden a un evento concreto (i.e. un naufragio) y así superar las limitaciones interpretativas que, para tal fin, un único sitio supone. El desafío cobra especial relevancia al momento de examinar sistemas complejos, entendidos aquí como aquellos fenómenos socio-históricos que, por sus propias características, requieren ser analizados a partir de una investigación de carácter interdisciplinario, que integre varias fuentes de

información y enfoques concomitantes. Los naufragios, como manifestaciones tecnológicas, constituyen una evidencia singular de sumo interés para el estudio de las actividades pretéritas del ser humano, tanto en el entorno acuático como en tierra. La posibilidad de explotar el potencial que encierran los materiales arqueológicos de esta índole yace en los análisis en clave comparativa. La temática de investigación a la que aquí nos aproximamos, así como la perspectiva tenida en cuenta para el análisis y la síntesis de datos obtenidos de naufragios de diferente procedencia, se articulan y orientan en este sentido.

Esto último se vincula con las tres escalas de análisis temporal, relacionadas con fenómenos de carácter sociocultural, que definió el historiador Braudel, a saber: 1) de corta duración o del acontecimiento, relacionada con los eventos (e.g. los naufragios) y las personas, consideradas individualmente; 2) de mediana duración o de la coyuntura, referida a los procesos (e.g. las guerras); y 3) de larga duración o de la estructura, es decir cuestiones que poseen una gran estabilidad en el tiempo (e.g. la cosmovisión de una sociedad). Vale recordar al respecto que la tecnología, como fue definida por Lemonnier, posee tres niveles de interacción que le otorgan un carácter sistémico. Una técnica —en general, cualquier acción específica sobre la materia— está formada por varios componentes interconectados, tales como herramientas, fuentes de energía, gestos, actores y representaciones; y distintas técnicas están relacionadas con otras en diversas formas y por varias razones. A un nivel más amplio, las formas en que un objeto es producido, intercambiado, utilizado y resignificado creativamente, están relacionadas con las demás prácticas y los sistemas de creencias de las personas, los grupos y la sociedad en su conjunto. Los barcos eran parte de este complejo sistema técnico, y en su análisis radica la posibilidad de acceder tanto a asuntos específicos como a otros más generales, relativos a la sociedad de su tiempo.

La historia de la tecnología moderna está regada de proyectos de ingenios utópicos, algunos de los cuales vieron la luz y alcanzaron un carácter masivo y se consideran clásicos exponentes de la creatividad humana. Tal es el caso de la máquina de vapor y la gran variedad de sus aplicaciones prácticas. Los retos técnicos y científicos que muchos de estos artificios supusieron, se equiparan a las repercusiones —algunas de ellas inimaginables en su momento— que suscitó el éxito de tales empresas. Por fascinantes que parezcan estas creaciones, no fueron

sino el resultado de la confluencia de una vasta experiencia práctica, de la aplicación de una amplia variedad de conocimientos y de la aunada participación de un número importante de protagonistas anónimos. Los desarrollos sobre los que nos ocuparemos en esta investigación, también han sido producto de este complejo proceso. Estos estuvieron motivados por una diversidad de factores. Entre estos, consideramos que los conflictos enmarcados dentro del escenario de expansión comercial y territorial de las potencias marítimas, así como la extensión del método científico al campo de la producción y la aplicación práctica de algunos conocimientos académicos puntuales, contribuyeron en este sentido.

Esta tesis está abocada al análisis de las innovaciones en la tecnología naval de las principales potencias entre mediados del siglo XVIII y principios del siglo XIX: Gran Bretaña, Francia y España. Los dos primeros países suelen ser considerados como los centros de mayor desarrollo de la época con relación a innovaciones en numerosos campos de actividad. Circunscribimos nuestro trabajo a los buques de guerra, en particular a los objetos de metal vinculados con la operatividad de los barcos en lo que a la navegación y el combate se refiere, i.e. los que formaban parte del casco, el equipamiento náutico y la artillería, entre los principales. Pese al protagonismo que tuvieron las naves, el registro de las innovaciones tecnológicas en torno a los aspectos mencionados dista de ser exhaustivo. Ello es especialmente notable en el caso de los ámbitos de producción de índole artesanal, para los que no se dispone de un extenso registro documental. Dentro de este contexto, la evidencia material procedente de naufragios de la época—en nuestro caso, su alta definición temporal y espacial los vuelve especialmente propicios para conducir un análisis como el que proponemos— cobra especial relevancia para profundizar en el conocimiento acerca de la temática.

**

Teniendo en consideración lo expuesto anteriormente, diremos que el propósito de esta investigación de doctorado es contribuir a una comprensión más acabada de la dinámica de innovación tecnológica dentro del ámbito naval durante la

transición de los períodos de la Historia Moderna y Contemporánea. Nos circunscribimos al caso particular de la metalurgia y los barcos de guerra británicos, franceses y españoles, entre mediados del siglo XVIII y principios del siglo XIX. A fin de cumplir con tal cometido, analizamos la relación entre los cambios tecnológicos en torno a los artefactos de metal y la dinámica de industrialización y conflicto que protagonizaron las naciones europeas mencionadas durante el período en cuestión, con especial énfasis en los casos de estudio británicos.

Más específicamente, en primer lugar hacemos un estudio histórico sobre los componentes de metal empleados en los barcos de guerra, en particular aquellos pertenecientes a la estructura del casco (los elementos de sujeción y el revestimiento del forro), el equipamiento náutico (las piezas pertenecientes a los sistemas de maniobra, fondeo y achique) y el armamento (cañones y municiones); subsidiariamente, tendremos en cuenta a la jarcia y ciertos accesorios. En segundo término, llevamos a cabo una caracterización morfológica, funcional y físico-química de los artefactos recuperados de un grupo de naufragios. Identificamos las principales características técnicas de los restos (e.g. aspectos morfológicos, materias primas, procesos de fabricación, operatividad y eficiencia dentro del contexto de aplicación) y evaluamos las semejanzas y diferencias registradas para cada tipo de componente, en función de la procedencia y el período de operación de las naves. Y tercero, indagamos acerca de los procesos de transferencia (en especial de conocimientos, materiales y métodos), la transición entre la producción artesanal e industrial, el desarrollo de las investigaciones científicas y la política asociada a los conflictos armados entre las naciones. En particular, analizamos la relación entre estos aspectos y el rol que cumplieron dentro del proceso de innovación en torno a la metalurgia y los buques de guerra de la época.

El principal aporte del trabajo lo constituyen los análisis arqueológico e histórico de un conjunto de artefactos recuperados de varios barcos de guerra británicos, franceses y españoles. A lo largo del escrito, complementamos el corpus de datos obtenido con los resultados de otras investigaciones sobre naufragios del período, vinculados con el tema de la tesis. Por otro lado, consideramos la información recabada de diferentes fuentes documentales y de estudios históricos en materia de metalurgia e industria naval, de modo integral con los datos producto de trabajos arqueológicos. De este modo buscamos articular (y analizar

críticamente) las líneas de evidencia disponibles, a fin de obtener una visión más profunda, comprehensiva y detallada de los asuntos desarrollados.

Le otorgamos un espacio relevante a los análisis de caracterización, que permitieron precisar una serie de aspectos relativos a los artefactos estudiados, tales como el modo de fabricación y la calidad de los materiales. A partir de los resultados obtenidos y a la luz de las otras fuentes de información, analizamos los métodos y técnicas de producción, las prestaciones de los objetos, los conocimientos disponibles en aquel entonces acerca de los materiales, y la procedencia de estos últimos, entre otros aspectos. Sobre la base del análisis de los sitios en clave comparativa, aportamos información novedosa sobre la dinámica de innovación en el ámbito particular de las Marinas de guerra.

La tesis que sostendremos en este trabajo puede desdoblarse en los siguientes puntos principales:

1. Las innovaciones en torno a la tecnología naval de las potencias europeas de mediados del siglo XVIII y principios del siglo XIX permitieron mejorar la eficacia de los componentes críticos de los barcos de guerra y dar respuesta a desafíos prácticos inmediatos. Estos cambios, que afectaron el diseño, los materiales y los métodos de producción, estuvieron condicionados por los avances en otros campos y el conservadurismo de algunos sectores. No fueron transformaciones radicales, sino que operaron sobre la base del ajuste de soluciones técnicas previas, locales y foráneas. En ocasiones, se vieron beneficiados *a posteriori* por estudios del ámbito académico.
2. La dinámica de observación, experimentación y sistematización de información, típica de la práctica científica, fue asimismo el basamento de las actividades de ingenieros, técnicos y artesanos. Cumplió un rol fundamental durante el proceso de innovación, que estuvo favorecido por la anticipación a los conflictos internacionales entre las potencias europeas. De cara a fortalecer las flotas, las políticas de Estado y del sector privado —este último principalmente en Gran Bretaña— dieron lugar a innovaciones en las industrias bélica y civil, que a su vez se influyeron mutuamente.

El manuscrito está organizado en tres secciones, que incluyen un total de nueve capítulos y otros tantos anexos. La primera sección, que comprende los primeros cinco capítulos, está dedicada a la exposición general, los antecedentes históricos y el marco teórico-metodológico de la investigación. Luego de esta breve introducción al tema y la obra en general (capítulo primero), dedicamos el capítulo segundo a presentar el contexto social, económico y político, con énfasis en la interrelación de los desarrollos tecnológicos durante el proceso de industrialización en Europa Occidental durante el período de interés, el proceso de crecimiento y expansión comercial (mercados internos y de ultramar) y los conflictos y enfrentamientos armados por el dominio de los mares entre las principales potencias. A la vez, exponemos algunos aspectos relevantes tales como los conocimientos y prácticas del ámbito artesanal y fabril; la vinculación entre la ciencia y la técnica; y las características de la producción del hierro y del cobre, en perspectiva local y regional. Dentro de este contexto definimos la situación de las armadas, con especial atención en la organización institucional, los astilleros y arsenales navales; en particular, delineamos cuestiones de la arquitectura naval en madera (de los buques de guerra) tales como el diseño y la construcción, y los elementos componentes de metal mencionados más arriba. En el capítulo tercero sintetizamos las principales nociones teóricas acerca de la tecnología, desde la óptica de las Ciencias sociales, y nos adentramos en varios aspectos fundamentales de la dinámica de innovación tales como el proceso de generación e incorporación de las invenciones y el rol del conflicto. En el capítulo cuarto definimos los fundamentos y principales aportes de las dos especialidades dentro de las que se enmarca la investigación, haciendo mérito en el análisis comparativo de los naufragios como un medio privilegiado para el conocimiento de la sociedad de la época. Explicitamos los criterios utilizados para el análisis de las fuentes de información disponibles, en particular la orientación de carácter interdisciplinario, y realizamos un recorrido sucinto por las investigaciones a nivel nacional e internacional en torno a los artefactos metálicos provenientes de naufragios. En el capítulo quinto, que cierra la sección, planteamos los objetivos generales y específicos de la investigación; describimos las características generales de los pecios analizados de la segunda mitad del siglo XVIII y principios del siglo XIX, y hacemos mención de los sitios de referencia (i.e. paralelos arqueológicos). Además, ponemos de manifiesto algunos aspectos metodológicos tales como el manejo de

fuentes documentales y los métodos e instrumental de análisis empleados para la caracterización de los materiales.

En la segunda sección exponemos y discutimos la información obtenida a partir del análisis de los materiales provenientes de los naufragios considerados, de manera conjunta con los datos recabados de las fuentes documentales y de otros estudios arqueológicos. Esta parte se divide en tres capítulos, que se corresponden con cada una de las principales categorías de objetos estudiados. En el capítulo sexto nos ocupamos de los elementos de sujeción estructurales (pernos y clavos) y del forro metálico (chapas y tachuelas) de los barcos de madera. A continuación, dedicamos el capítulo séptimo al equipamiento náutico, i.e. los sistemas de gobierno (timón de rueda), fondeo (anclas) y achique (bombas de carena). El último capítulo de la sección lo reservamos para la artillería, en particular los cañones y municiones que se utilizaban en estas piezas. Estos capítulos incluyen un análisis de los cambios en la tecnología naval a lo largo del período en cuestión.

La tercera y última sección consta de un capítulo, que lleva el encabezado 9 *Estudio comparado de la tecnología naval*. En este noveno y último capítulo integramos los aspectos centrales discutidos a lo largo de la tesis y brindamos nuestras reflexiones finales. Explicitamos las principales aportaciones de los análisis microestructurales al conocimiento de los artefactos metálicos empleados en el ámbito naval durante los comienzos de la industrialización. Planteamos algunas nociones teórico-metodológicas en torno al estudio de los metales de naufragios y al abordaje interdisciplinario de las innovaciones tecnológicas, que podrán servir de guía para futuras investigaciones. Retomamos la cuestión del potencial asociado al estudio de los naufragios desde una perspectiva arqueo-histórica a escala local y regional, en especial a la luz de las evidencias manifestadas en este trabajo con respecto a los barcos de pabellón británico, francés y español. Como cierre, delineamos de forma articulada los diversos aspectos que dan cuenta del cambio tecnológico en el ámbito naval moderno: los conflictos armados entre los países, las tradiciones navales, la transferencia de conocimientos, materias primas y artefactos, el paso de la producción artesanal a la fabril y los avances científicos.

Acompañamos el cuerpo del escrito con diez anexos, en los que el lector encontrará información complementaria de interés sobre los temas abordados en los capítulos anteriores. Si bien a lo largo del escrito procuramos definir los

términos navales y metalúrgicos más importantes, en este apartado ofrecemos un glosario especializado. A la vez, dada su relevancia para con el tema, creímos necesario desarrollar aparte y con cierta extensión cuestiones tales como los principales acontecimientos históricos —pusimos especial énfasis en los conflictos e innovaciones técnicas y científicas— del período; las máximas autoridades navales; las unidades de pesas y medidas; e información específica sobre la artillería y municiones de los barcos. Teniendo en cuenta que la descripción pormenorizada de los análisis específicos podría resultar de lectura embarazosa, y distraer al lector de la problemática central, en los capítulos de la segunda sección decidimos exponer una versión sintética de aquellos. Quien se interese por los datos obtenidos del estudio de cada uno de los materiales de los sitios aquí trabajados, encontrará en los anexos una descripción detallada de los resultados, con el material gráfico correspondiente. Estos análisis específicos fueron realizados bajo la supervisión del Ing. Horacio De Rosa, director del Grupo de Arqueometalurgia (FI-UBA). Además de servir de respaldo a lo mencionado en los capítulos, la información suministrada podrá ser de interés para el especialista y servir como material de base para futuras comparaciones. Algunos de los resultados de la investigación fueron presentados de forma parcial en otras oportunidades, en colaboración con varios autores. En reconocimiento a ellos, que muy amablemente me permitieron usar los datos recabados, oportunamente haré mención expresa de cada caso.

Anhelamos que otros tengan la iniciativa de capitalizar lo que aquí consideren de utilidad y continuar profundizando el conocimiento sobre el tema. Sin más, invitamos al lector a adentrarse en la tesis.



Capítulo 2

CONFLICTO, INDUSTRIALIZACIÓN y BARCOS de GUERRA

La prosperidad económica de los estados europeos modernos se fundamentó en la proyección ultramarina de las rutas comerciales, hacia las Indias Occidentales (América) y las Indias Orientales (sudeste asiático). Fue un largo período de expansión a escala global, que comenzó alrededor del siglo xv con las iniciativas ibéricas (portugueses y españoles), y que siguió más tarde con la activa participación de los holandeses, ingleses y franceses. A lo largo del tiempo, entre estos estados europeos cristalizó y se puso en práctica una filosofía del poder marítimo. Desde un principio, este proceso fue en gran parte consecuencia, pero a la vez motor, de una serie de cambios en torno a la industria naval, que llevó a contar con barcos de mayor porte y mejor artillados, que operaron en parajes cada vez más distantes de las metrópolis. Muchas industrias relacionadas con la navegación sufrieron intensas transformaciones; tal fue el caso de la metalurgia del hierro y el cobre. Dentro de este escenario, la transferencia tecnológica cumplió un rol significativo.

El principal exponente europeo de esta política comercial expansionista durante la segunda mitad del siglo XVIII, en particular con respecto a los mercados internacionales, fue Gran Bretaña, que por aquel entonces experimentaba un proceso de industrialización. Dentro de este contexto, los transportes marítimos ocuparon un rol crucial para el desarrollo del modo de producción capitalista, en especial durante la etapa de expansión comercial. En particular, los buques de guerra fueron los medios por excelencia de que se valieron dichos estados para controlar las rutas comerciales y los territorios de ultramar, adonde colocaban sus manufacturas y de donde obtenían materias primas. Alcanzar *manu militari* el dominio del mar para controlar los mercados y, a partir de estos, las riquezas del mundo, era una fórmula muy bien conocida.¹ A ello se abocaron con especial intensidad las principales potencias europeas durante aquella centuria y principios de la siguiente. Fue así que los británicos obtuvieron una posición de supremacía, dejando atrás a sus principales competidores continentales: España y, sobre todo, Francia.

En este capítulo haremos una breve exposición de los principales acontecimientos históricos acaecidos durante el período que nos ocupa, con especial hincapié en las condiciones, antecedentes y consecuencias del proceso de industrialización británico. En la primera parte, daremos cuenta de los conflictos bélicos navales de las principales potencias europeas, que tuvieron lugar con motivo de las pugnas por el dominio de los mares y la proyección ultramarina de los mercados (sobre todo en el caso de la política exterior británica, seguida para colocar sus manufacturas y hacerse de materias primas). Veremos las tácticas y estrategias de las potencias marítimas y continentales; las acciones navales y las operaciones combinadas entre la armada y el ejército (anfibia); y los principales enfrentamientos, alianzas y tratados de paz. En una segunda sección ahondaremos en las principales transformaciones ocurridas en el campo de la industria, enfocándonos en la transición de la producción artesanal a la fabril (e.g. la nueva organización del trabajo; el rol de los productores, intermediarios y comerciantes; las fuentes de energía; las instalaciones de los talleres y las fábricas; así como la creciente mecanización y escala de producción de ciertas industrias). Aquí también

¹ En palabras del británico Walter Raleigh (1552-1618): “el que tenga el dominio del mar, tiene el del comercio; el que tiene el dominio del comercio, domina las riquezas del mundo y, por tanto, el mundo mismo” (Howard 1987:216).

abordaremos algunos aspectos básicos de la metalurgia del hierro y del cobre. En tercer lugar, partiendo de lo ya expuesto, daremos cuenta del poderío de las armadas, de las principales características de los barcos de guerra y del estado de las flotas, uno de los principales instrumentos con que contaron los estados para llevar a cabo sus operaciones bélicas y comerciales en el exterior. Trataremos sobre los rangos de las naves (particularmente de las fragatas y navíos de línea); los elementos clave para su operatividad, en especial aquellos de metal; la cantidad y condiciones de las unidades disponibles; la organización institucional (los responsables de la conducción de la armada); los arsenales y astilleros (recursos materiales y humanos); las políticas de fortalecimiento durante el período; finalmente, haremos mención de los cambios en torno al diseño y la construcción naval.

LAS POTENCIAS EUROPEAS Y LOS CONFLICTOS NAVALES

Expansión del comercio a escala global

En Wallerstein (2014) encontramos una de las reseñas más elegantes acerca de las profundas transformaciones económicas, políticas y sociales vinculadas al proceso que tuvo sus comienzos en Europa hacia finales del siglo xv,² sistema que se denominó capitalismo histórico. Lo que diferenció a este último de los sistemas anteriores fue que en aquel se produjo una mercantilización de los procesos de intercambio, producción distribución e inversión, que asimismo pasaron a estar unidos entre sí por complejas cadenas de mercancías, como consecuencia de la

² Este momento marca el inicio del mundo moderno. Desde la perspectiva de la arqueología histórica se realizaron varios aportes sobre sus aspectos definitorios. Orser (1996) lo estructuró sobre la base de cuatro elementos típicos: colonialismo global, eurocentrismo, capitalismo y modernidad. Este nuevo sistema fue precisado por Deetz (1996) en los siguientes términos: individualismo, segmentación, orden y mecanicismo, características de una realidad que impactó sobre las sociedades nativas a nivel mundial. Asimismo, por aquel entonces, Johnson (1996) hizo mención de conceptos claves similares, a la vez que destacó la estandarización y el consumo. Varias investigaciones desarrolladas en América del Norte y del Sur, las Islas Británicas, África del sur, central y occidental, y Oceanía, entre otras, se han enfocado en el proceso de expansión europea, pero además han hecho hincapié en su articulación con las diversas poblaciones, así como en el impacto de cada caso sobre la trayectoria del centro (véase Paynter 2000).

racionalidad económica de incesante acumulación de capital. En breve, y recurriendo a sus propias palabras: “el desarrollo histórico del capitalismo ha implicado una tendencia a la mercantilización de todas las cosas” (Wallerstein 2014:11).

Siguiendo esta lógica, que caló cada vez más hondo en la sociedad, y dentro de las posibilidades brindadas por el mercado, los productores se abocaron a lo largo del tiempo a maximizar su capacidad para acumular capital. Lo lograron gracias a la existencia de un mercado de trabajo, i.e. de un grupo de personas disponibles para vender su fuerza de trabajo (el conjunto de los trabajadores asalariados, i.e. los proletarios). A medida que las actividades productivas se enmarcaron dentro de cadenas de mercancías cada vez más complejas, por lo general integradas y concentradas en las metrópolis, se produjo una lenta pero creciente proletarización.³ Desde antaño, el sistema se caracterizó por la transnacionalidad de estas cadenas y el intercambio desigual entre una zona y otra. A grandes rasgos, en el área más favorecida (central) se configuraron y pusieron en marcha aparatos de Estado relativamente fuertes. Entre otras cosas, este último debía encargarse de mantener vigente y oculto el *statu quo* de la relación dispar con las zonas periféricas, regular la circulación de mercancías, legislar las relaciones sociales de producción, establecer cargas impositivas, etc. Mediante el uso de herramientas políticas e ideológicas, se impuso la idea de que las economías funcionaban exclusivamente sobre la base de la lógica de la oferta y la demanda. No obstante, las aspiraciones monopolistas, la fuerte competencia económica y política entre los diferentes propietarios-productores (capitalistas) por los beneficios individuales inmediatos y las profundas desigualdades generadas al interior del sistema para con los trabajadores, dieron lugar a ciclos de expansión y estancamiento (crisis) masivos. Una y otra vez, estuvieron presentes los aparatos de Estado, y en

³ El sistema capitalista se caracterizó por dos aspectos fundamentales: 1) la socialización de la producción de mercancías —condición necesaria, pero no suficiente para que la sociedad se considere capitalista— y 2) la proletarización de los productores directos; esto es, la transformación de la fuerza de trabajo humana en mercancías (Ciafardini 2005:117,118). En este sentido, el carácter distintivo del capitalismo no radica en un espíritu o racionalidad económica orientada a la búsqueda de una ganancia, ni tampoco en el carácter comercial a gran escala de la actividad. Ninguno de estos aspectos es lo bastante restrictivo como para ubicar a este sistema dentro de un período histórico en particular, i.e. el mundo moderno en siglos recientes. Antes, lo distingue de otros sistemas el hecho que los poseedores de capital utilizan este recurso durante el proceso de producción para extraer plusvalía a la fuerza de trabajo (Dobb 1971:22).

ocasiones manifestaron su fuerza abiertamente (e.g. durante las guerras). A la larga, el sistema lograba reorganizarse y sortear los obstáculos necesarios para seguir creciendo, concentrando capital acumulado. Dentro de este escenario, ciertos sectores de la sociedad contaron con los recursos para que el aparato de Estado oficiara a favor suyo (de allí que la estrategia básica de los movimientos antisistémicos surgidos en el siglo XIX, e.g. el de obreros socialistas, haya sido apropiarse de los medios de poder del Estado). La búsqueda por incrementar las ganancias llevó a los capitalistas allende las fronteras de su país, lo que a la postre dio lugar a que se estableciera y consolidara la llamada economía-mundo capitalista. Bajo estas circunstancias, los estados modernos no fueron entidades completamente autónomas; antes bien, dependieron de otros, conformando una suerte de sistema interestatal. Dada la importancia del control de los territorios, por razones fundamentalmente económicas, la concentración del poder militar dio lugar más de una vez a intentos de cambiar las fronteras establecidas y convertir aquel sistema en un imperio. Toda vez que un estado buscó sobreponerse a los demás, otros se lo impidieron, conscientes de los perjuicios que un poder demasiado fuerte supondría para el propio sistema. Así se mantuvo cierto equilibrio de poder, con breves períodos de relativo dominio (hegemonía) de uno de los estados fuertes, por ser más eficiente en la producción agroindustrial, el comercio y las finanzas (véase Wallerstein 2014).

El comercio y las posesiones de ultramar fueron de vital importancia para Gran Bretaña, de allí que las marinas mercante y de guerra ocuparan un lugar fundamental. Esta última, sobre todo, fue el instrumento habitual de la política de control formal llevada a cabo en los ámbitos de ultramar. Cosa semejante puede decirse de aquellos países cuya prosperidad dependió históricamente del tráfico mercante por mar (Allen 2002:229). Cain y Hopkins analizaron, en particular, las características de este proceso de expansión comercial británica a lo largo de tres períodos, el primero entre 1750 y 1815. En el curso del siglo XVIII, los avances en la productividad agrícola contribuyeron a incrementar la demanda doméstica, elevar el poder adquisitivo de productos importados y sentar las bases para el crecimiento de nuevas manufacturas. Asimismo, las limitaciones del mercado europeo, en el que Francia fue ganando terreno, crearon las condiciones para el desarrollo de los mercados de ultramar en América y Asia. La demanda de

productos extranjeros y el crecimiento de estas economías periféricas llevaron a que las exportaciones (dominadas por productos de la industria textil) crecieran notablemente a partir de la década de 1780. Dentro de este contexto, los principales representantes de la economía —la agricultura era aún la principal fuente de ingresos del país— tuvieron que acomodarse a la nueva situación. El resultado fue una política que articuló medidas proteccionistas (e.g. aumentando los aranceles a las importaciones competitivas y prohibiendo la emigración de mano de obra especializada) y el incentivo de las exportaciones de productos manufacturados (Cain y Hopkins 1980:467,470).

Las voces de la época que se manifestaban a favor del comercio, dadas sus supuestas bondades para los individuos y los reinos, son tantas que pasar revista de todas ellas sería una tarea extensísima, más allá de nuestra intención. Basta para ilustrar el sentimiento compartido por muchos políticos y empresarios, con reproducir las palabras de Bernabé Antonio de Egaña, Secretario de Juntas y Diputaciones de la provincia de Guipúzcoa: “el Comercio perfecciona las Artes, y la industria. El Comercio difunde una inmensidad de riquezas, y un torrente de beneficios imponderables en los Reynos, y Provincias. Nadie lo ignora...” (Egaña 1788:226).

La expansión comercial europea —que por primera vez en la historia alcanzó una escala global— se produjo dentro de un marco de continuos conflictos entre las principales potencias marítimas (véase más abajo). Los pensadores contemporáneos también dieron cuenta de esta situación, en algunos casos con una honda preocupación por sus consecuencias. Así lo expresó el escritor británico Samuel Johnson en su obra *Thoughts on the last Transactions respecting Falkland's Islands*:

“Todo el sistema del imperio europeo corre peligro de una nueva conmoción debida a una contienda por ciertos puñados de tierra que, en los desiertos oceánicos, prácticamente escapan a cualquier noticia humana...” (Johnson [1771] 2003:29; traducción de Pablo Massa y Federico H. Lafuente).

La particular posición de Johnson frente a la guerra fue expresada en un ensayo titulado *The Vultures' view of Man*, publicado en 1758. En este relato, una vieja buitre intenta explicarle a sus crías la naturaleza del hombre. Refiriéndose a este, comentó:

“No poseemos la fuerza del hombre (...) y a veces me pregunto sin tendremos su sutileza; los buitres rara vez se recrearían con su carne si la Naturaleza, que le ha hecho para nuestros usos, no le hubiese dado al hombre una extraña ferocidad, que no he observado en ninguna otra especie de las que se alimentan sobre la tierra. Dos manadas de humanos suelen encontrarse y sacudir el suelo con estrépito, y cargar el aire con fuego. Cuando oigas el ruido y veas el fuego, en destellos a lo largo del campo, apresúrate al sitio con la mayor velocidad de tus alas, pues con seguridad están los hombres destrozándose entre sí (...) El hombre, dijo la madre, es la única bestia que mata aquello que no devorará...” (Johnson [1758] 2003:76; traducción de Pablo Massa y Federico H. Lafuente).

No es preciso decir que esta perspectiva no era compartida por otros, que veían en la guerra el principal medio para alcanzar el dominio de los mares y las riquezas de los territorios de ultramar.

Los territorios y mercados de ultramar

A lo largo de los siglos, los barcos se han desempeñado —de un modo directo o indirecto— como vehículos para la transferencia de conocimientos, materiales, mercancías y personas. La diversidad de actividades en las que estuvieron involucrados redundó en la interacción de sociedades localizadas a lo largo de extensas áreas, vinculación que en tiempos modernos alcanzó una dimensión global. En numerosas regiones, el contacto marítimo tuvo un rol particularmente importante; allí, los mares actuaron como vías rápidas, directas y relativamente poco costosas de circulación (Martin 2011:1087).⁴

⁴ Las vías navegables, i.e. ríos y mares, también tuvieron un lugar preponderante en las relaciones comerciales dentro del territorio (mercado interno). En el caso de Inglaterra, durante el siglo XVIII se realizaron importantes inversiones públicas y privadas para la mejora de las rutas de transporte

Dentro del contexto que nos ocupa, los territorios emplazados más allá de las fronteras europeas —insulares, en el caso de Gran Bretaña, y continentales, en la situación particular de Francia y España—, resultaron de suma importancia para la extensión y crecimiento de los mercados. Como veremos, los mercados pudieron ampliarse, cuando no crearse, gracias a la industrialización (Hobsbawm 1977:40). Ello fue especialmente patente en el caso de Gran Bretaña, que por medio de estos dispuso de una mayor población adonde los empresarios privados pudieron colocar las ingentes manufacturas de los talleres y las fábricas. La situación que caracterizó al proceso de industrialización desde finales del siglo XVIII fue definida como “el triunfo del mercado exterior sobre el interior” (Hobsbawm 2006:42). Durante esta centuria la demanda interior creció lentamente, mientras que la exterior lo hizo de modo vertiginoso. Dentro de un contexto local favorable, el comercio con el exterior (los mercados de ultramar) tuvo un lugar fundamental para el desarrollo de la economía industrial británica. Para este autor, de allí provino la chispa necesaria para la revolución (Hobsbawm 1977:47,52).

Las colonias y otros territorios de ultramar, localizados en las Indias Occidentales y Orientales, resultaron doblemente útiles, ya que sirvieron además como fuentes de abastecimiento de diferentes recursos, en particular de materias primas para la producción de esos mismos bienes comercializados dentro y fuera de Gran Bretaña, así como de mano de obra a bajo coste. Si aquellos lejanos espacios constituyeron o no la principal variable del crecimiento británico, sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XVIII, es motivo de controversia entre los especialistas. Pese a ello, no cabe duda que jugaron un rol significativo, junto a los mercados internos y del resto de Europa, i.e. mercados continentales (véase Allen 2006). Según Hobsbawm, es probable que tanto estos como los de ultramar hayan sido esenciales, aunque de forma distinta (Hobsbawm 1977:41). La red de relaciones establecida a nivel internacional fue de carácter asimétrico y redundó en el crecimiento de su centro (las metrópolis) y la permanente subordinación económica de la periferia (Kriedte et al. 1986:22).

terrestre; no obstante, el mal estado en que se encontraban y los peligros que suponían hicieron del transporte por agua una alternativa atractiva (Hobsbawm 2006:17). Las vías navegables permitieron integrar directamente el mercado nacional dentro del internacional, incluso antes de convertirse en un país industrializado (Rodger 2006:310).

La seria importancia que tuvieron estos territorios ultramarinos para el desarrollo del comercio internacional está evidenciada en las continuas disputas que protagonizaron varias potencias europeas en busca de su dominio (véase más abajo). Cabe notar que, en un principio, las compañías privadas —con licencias del gobierno para ejercer el monopolio comercial de ultramar— tuvieron una responsabilidad importante en la extensión de los conflictos entre los estados europeos (Marks 2007:145). La posibilidad de establecer una extensa zona de libre comercio a nivel internacional estaba supeditada a la capacidad de un Estado para lograr la hegemonía sobre sus competidores. Por ello, la dinámica entre las potencias de la época adquirió la forma de, en palabras de Colbert, *un combat perpetuel* (Cain y Hopkins 1980:468). Hobsbawm lo expuso así:

“El país que conseguía concentrar los mercados de exportación de otros, o monopolizar los mercados de exportación de una amplia parte del mundo en un período de tiempo lo suficientemente breve, podía desarrollar sus industrias de exportación a un ritmo que hacía la Revolución industrial no sólo practicable para sus empresarios, sino en ocasiones virtualmente compulsoria. Y esto es lo que sucedió en Gran Bretaña en el siglo XVIII” (Hobsbawm 1977:47).

Pugnas por el dominio de los mares

Estrategia y táctica naval

Como ya anticipamos, la supremacía de los estados europeos a lo largo del período aquí analizado estuvo fuertemente ligada al éxito de las acciones de sus barcos de guerra, en especial de la superioridad de la flota. La hegemonía naval fue así una meta esencial, en particular para Gran Bretaña. La prosperidad económica y superioridad política internacional de este Estado dependieron en forma sustancial de ese dominio, situación señalada por varios estrategas navales desde el siglo XIX. En el segundo volumen de *The Influence of Sea Power upon the French Revolution and Empire, 1793-1812*, el historiador estadounidense Alfred T. Mahan escribió, refiriéndose al poderío de las escuadras de Gran Bretaña: “Aquellos barcos lejanos, azotados por tormentas, sobre los que el Gran Ejército [de Napoleón] nunca posó

la vista, se interponían entre este y el dominio del mundo” (Mahan 1892:118; la traducción es personal).

El enfrentamiento premeditado entre dos o más flotas (*guerre d'escadre*) raras veces sucedía, pero era uno de los principales caminos por medio del que podía definirse el futuro de las naciones involucradas. La política ofensiva que adoptó Gran Bretaña desde fines del siglo xvii preveía e incitaba este tipo de acciones. Francia, su principal enemigo a lo largo del siglo xviii, siguió una estrategia diferente: se concentró más en el ejército y en atacar al tráfico mercante (*guerre de course*) de los británicos y socavar así las bases económicas de su Estado.

La forma en que se condujeron las armadas hasta fines del siglo xix estuvo basada en los conocimientos adquiridos en la práctica por los líderes políticos y navales; en parte importante fueron producto de su propia experiencia, pero en ocasiones se derivaron de imitar a otras armadas (Reynolds 2000:17). Lo anterior, veremos más adelante, tuvo algunas implicaciones sobre los cambios en el diseño y la construcción de los barcos. Pero es importante resaltar, siguiendo a Rodger, que en aquella época aún no existía la estrategia en el sentido que hoy le otorgamos. Ciertamente, existían ciertas ideas sobre cómo emplear las armadas y los ejércitos. Estas ideas, sin embargo, tendían a ser de tipo pragmático, es decir que no estaban fundamentadas en un cuerpo teórico desarrollado (Rodger 2006:259,260).

Dicho esto, la estrategia naval que siguió cada armada a fin de conseguir posicionarse por sobre otras dependió de muchos factores, aunque la condición geográfica de cada nación (continental o insular) fue de una relevancia notable. Las metas económicas y políticas de cada nación no se mantuvieron sin cambios —la dinámica de la propia coyuntura al interior o fuera de sus fronteras exigió que así lo fuera— por tanto tampoco hubo un solo plan para alcanzarlas. No obstante, siguiendo a Reynolds, es posible reconocer ciertas características que distinguen en términos generales a las estrategias de las diferentes potencias de la época. Este autor sostuvo:

“La herramienta estratégica más importante de una gran potencia continental, con fronteras terrestres extensas para defender, ha sido el Ejército. La fuerza estratégica clave para una gran potencia marítima, que carece de fronteras terrestres pero depende del comercio marítimo, ha sido la Armada” (Reynolds 2000:16).

El carácter fundamental de Gran Bretaña como Estado marítimo le demandó tener asegurado el comercio de ultramar y disponer de una armada permanente. Alcanzar la dominancia marítima fue un aspecto de crucial importancia, y las políticas de índole nacional e internacional adoptadas a lo largo del tiempo estuvieron fuertemente condicionadas por este mandato. A lo largo del siglo XVIII Gran Bretaña fue afianzando su posición en el mar a nivel global sobre la base de una estrategia que suscitó numerosas guerras contra las otras potencias europeas, i.e. Francia y, en menor medida, España. Si bien con los tratados que dieron fin a la Guerra de Sucesión Española (1702-1714) Gran Bretaña afirmó su supremacía, esta no podría considerarse como indiscutible sino hasta un siglo más tarde. No obstante, las alusiones a su posición preeminente en el mar fueron materia común a lo largo de este período, cuando menos desde la óptica británica (Fig. 2.1).

En el caso de los estados continentales, que también disponían de un extenso litoral marítimo, defender las fronteras ante un posible ataque por tierra era el precepto nacional más importante. Para lograr tal cometido, fue necesario contar con un importante ejército estable; a ello se abocaron en primer término, muchas veces a expensas de la armada (Reynolds 2000:18). Recordemos en este punto que, a excepción de la Revolución de las Trece Colonias (*American Revolution*), las guerras que enfrentaron las potencias europeas en este período, hasta la caída de Napoleón Bonaparte, fueron de una forma u otra de extensión continental, y los ejércitos tuvieron en ellas un rol preeminente, si no decisivo (Sumida 2006:90).

Dar cuenta de los aspectos socioculturales, políticos y económicos que caracterizaban a estos estados escapa a las posibilidades de esta investigación, pero podemos señalar algunas cuestiones sobresalientes en lo que a las armadas y ejércitos de cada uno respecta. Dijimos que el órgano militar más importante de Gran Bretaña era su Real Armada. En el caso de las potencias continentales, este lugar prominente lo ocupaba el ejército, mientras que la otra quedaba subordinada a este último. La situación contraria se daba en el caso del estado marítimo. Tanto una institución como la otra, dependiendo del caso, requerían en definitiva el grueso del presupuesto estatal (Reynolds 2000:19,22).



FIGURA 2.1 – ALEGORÍA DE LA MAESTRÍA Y EL TRIUNFO NAVAL DE GRAN BRETAÑA.

Título original, en inglés: *The Triumph of Britannia*. En la escena se aprecia a Neptuno, conduciendo el carro de Britannia, que lleva un retrato del rey Jorge III. La acompañan un grupo de ninfas, las cuales portan medallones con las figuras de los principales almirantes y comandantes británicos de la época (de izq. a der.): Pocock, Bosc[a]wen, Hawke, Anson, Saunders, Keppel y Howe. Nótese en el fondo la representación de la victoria decisiva de Sir Edward Hawke sobre la flota francesa, el 20 de noviembre de 1759. Grabado realizado por Simon François Ravenet, en base al lienzo que Francis Hayman dio a conocer en 1762 (una de las cuatro pinturas históricas del artista que se exhibieron en los Jardines Vauxhall, Londres), publicado en 1765 por John Boydell. Dimensiones de la lámina: 42,2 cm x 52,4 cm.

Fuente: © Trustees of the British Museum, Londres. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Este último autor nos ofrece en su libro un panorama sintético de las misiones estratégicas más importantes de las armadas de uno y otro tipo de estado a lo largo de la historia. Decidimos reproducirlo de forma parcial a continuación, haciendo hincapié en aquellos aspectos que se vinculan con el período temporal de interés, debido a la importancia que tiene para comprender el marco general de acción de las diferentes fuerzas navales:

- La estrategia naval de los estados continentales incluyó las acciones que siguen: apoyar al ejército en la ofensiva y defensa del continente, pero manteniendo una actitud renuente al combate (de carácter defensivo), buscando evitar riesgos innecesarios; disponer de una flota con poder suficiente para impedir o disuadir al enemigo de bloquear o invadir las costas y las colonias de ultramar, mediante buques que con frecuencia eran superiores en tecnología; atacar a la marina mercante del enemigo (guerra de corso), con miras a ejercer un bloqueo comercial que debilitara la economía del estado; y colaborar con el ejército mediante el transporte de tropas, en operaciones combinadas.
- La estrategia de los estados marítimos estuvo centrada en las siguientes actividades: controlar las rutas de navegación internacionales; mantener una flota de combate poderosa, capaz de neutralizar o destruir a las flotas de los estados continentales; adoptar una actitud ofensiva, a modo de defensa contra una posible invasión, que incluída diversas operaciones de ataque de las posesiones en tierra; proteger los barcos mercantes propios y, en tiempos de guerra, acometer contra los del contrario; bloquear las flotas y/o el comercio marítimo del enemigo (estrategia de contención o aislamiento)⁵ y emprender operaciones ofensivas anfíbias o combinadas, apoyando al ejército y/o a la infantería de marina, tanto a los propios como a los de la nación aliada (Reynolds 2000:20-23).

⁵ Había dos modalidades de bloqueo de las costas continentales: cerrado o directo, cuando las escuadras se encontraban a la vista desde la costa; y abierto o indirecto, en aquellos casos en que el grueso de los barcos del estado sitiador se encontraba fondeada fuera del alcance visual de los contrarios.

Brownlee realizó una descripción semejante sobre la estrategia británica entre finales del siglo XVIII y principios del XIX. La política adoptada —que en líneas generales respondía a problemas básicos de larga data— implicó las siguientes acciones: 1) proteger las colonias de ultramar y asegurar el bienestar de los barcos mercantes ingleses (mediante el antiguo sistema de escolta) que comerciaban alrededor del globo, dado que Francia tenía el control del territorio continental europeo; 2) cortar las líneas de suministro que mantenían los países europeos enemigos con sus colonias; 3) brindar apoyo (e.g. transporte de tropas y suministros) a las operaciones militares que se desarrollaban en tierra; 4) tener el control de las aguas del Canal de la Mancha, frente a cualquier posible invasión de las playas del sur de Gran Bretaña y 5) bloquear por mar algunos puertos europeos de importancia, a fin de impedir el movimiento de productos y mantener divididas (más vulnerables) las fuerzas enemigas (Brownlee 2001:6-10). La doctrina del dominio naval fue discutida fuertemente por Sir Julian Corbett, que en su lugar sostuvo que el principal objetivo de la estrategia británica era armonizar las fuerzas navales y las terrestres. En esta línea argumental, la tarea de las fuerzas navales de Gran Bretaña giraba fundamentalmente en torno a brindar asistencia a un aliado continental (Howard 1987:220,225).

Con relación a los combates, a lo largo del siglo XVII las principales armadas europeas adoptaron una táctica formalista, que se basaba en reunir los barcos de guerra en línea. En ocasiones, también adoptaron una táctica de entrevero, que consistía en romper las filas enemigas y concentrar el fuego sobre parte de ella o barcos en particular.⁶ Esta modalidad fue ganando notoriedad durante las últimas décadas del siglo XVIII (véase más abajo). En 1691, el Almirante británico Russell promulgó las Instrucciones de Navegación y Combate (*Sailing and Fighting Instructions*). En estas enfatizó la importancia de combatir con la ventaja del viento (a barlovento) y la escuadra a la par de la enemiga, a fin de entablar duelo de artillería, i.e. en línea. Francia y España, que no contaban con los recursos necesarios para reponer los barcos perdidos durante enfrentamientos deliberados,

⁶ La maniobra era arriesgada, dado que los barcos atacantes quedaban temporalmente expuestos, y sin capacidad de respuesta, a las andanadas contrarias. Para lograr la ruptura, aquellos debían estar situados a barlovento del enemigo. De tener éxito, sobre todo si la línea lograba dividirse en varios puntos, cada barco podía disparar sus cañones desde ambos lados de forma simultánea, y así ocasionar estragos (Dickie et al. 2012:151).

se volcaron a una táctica diferente, centrada en acciones defensivas. A diferencia de los británicos, los franceses y españoles se abocaron a apoyar los ejércitos de tierra y los convoyes mercantes que les proveían de vituallas. Por ello, en los combates, buscaron empeñarse desde sotavento para disparar a la jarcia y arboladura de los barcos enemigos, a fin de deshabilitarlos, ganar la ventaja y poder escapar (Reynolds 2000:106,107).⁷

El conflicto entre los estados tuvo implicaciones directas sobre el devenir de las armadas. Los costes económicos asociados al sustento permanente de una armada fuerte en condiciones operativas, difícilmente podían ser afrontados por cualquiera de los gobiernos de la época.⁸ Si tenemos en consideración la cantidad de enfrentamientos que se suscitaron entre las potencias europeas a partir de la segunda mitad del siglo XVIII, es evidente que los momentos de sosiego fueron los menos. Y cuando no estuvieron en guerra, predominó un clima de tensión y conflicto latente. Resulta de interés mencionar aquí el impacto que tuvo la guerra —o la preparación para la guerra— en el crecimiento de las armadas. Ya hablaremos sobre la relación entre la guerra y los cambios tecnológicos, en particular de la influencia de la primera sobre estos últimos.

Enfrentamientos, alianzas y tratados de paz

Las políticas expansivas de los estados europeos condujeron a numerosos enfrentamientos, que en ocasiones involucraron a coaliciones de varias naciones, a una escala global. El reparto del mundo, sin embargo, estuvo en manos de dos potencias, que encabezaron las principales contiendas del siglo XVIII: Gran Bretaña y Francia (Fig. 2.2).

⁷ Otros han señalado, contra lo que usualmente se afirma, que la forma de combatir de estas tres armadas era similar. Quienes se preocupaban por desarbolar al contrincante eran los corsarios, que iban en busca del botín. Los franceses y españoles, de hecho, emulaban a los británicos, pero sus intentos por lograr abatir al enemigo eran menos efectivos (Dickie et al. 2012:131).

⁸ El caso más notable de los cambios motivados de forma intermitente por los conflictos armados es el de las tripulaciones de los barcos de guerra, que eran movilizadas al servicio naval o libradas al mercado laboral según el dictado de los ritmos de la guerra (Frykman 2009:69).



FIGURA 2.2 – “EL PUDÍN DE CIRUELA EN PELIGRO”.

Título original, en inglés: *The Plumb-pudding in danger: -or- State Epicures taking un Petit Souper.* Aguafuerte coloreada a mano del caricaturista y grabador inglés James Gillray (1757-1815), publicada por Hannah Humphrey en febrero de 1805. En la imagen se representa al Primer Ministro británico William Pitt (1759-1806; ocupó el cargo en dos ocasiones, 1783-1802 y 1804-1806) y a Napoleón Bonaparte (1769-1821; por aquel entonces Emperador de los franceses) sentados a la mesa, frente a un pudín humeante con la forma de la tierra. Pitt reclama —haciendo uso de un tridente, símbolo de la supremacía naval británica— los océanos y las Indias Occidentales, mientras que Bonaparte se queda con los territorios continentales de Europa. Dimensiones de la lámina: 26,1 x 36,2 cm.

Fuente: © National Portrait Gallery, Londres. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Esta época fue también un período de coaliciones. Las alianzas entre dos o más potencias eran fundamentales, ya que les permitía disponer de las fuerzas necesarias para enfrentar al enemigo. Aquellas que eran superiores en el mar, requerían de un ejército sólido para operar en tierra; y viceversa (Reynolds 2000:17). Las numerosas guerras que se sucedieron a lo largo de los años dejan entrever que estas alianzas eran de un carácter transitorio, y muchas veces quienes habían sido aliados durante un tiempo pasaron a encontrarse repentinamente enfrentados.⁹

En el anexo 2 listamos de forma sucinta los acontecimientos sociales, económicos, políticos y tecnológicos de mayor interés a los fines de la presente investigación. No obstante, en este punto creemos conveniente además hacer un recuento, aunque sea de forma concisa, de algunos de los hechos bélicos más significativos. Quien desee profundizar en la temática, puede consultar varias obras de investigación histórica, sobre las que nos fundamentamos para elaborar la siguiente síntesis (e.g. Reynolds 2000; Brownlee 2001; Dickie et al. 2012, entre otros).

El balance de fuerzas entre las principales potencias europeas a comienzos del siglo XVIII fue resultado de una serie de eventos ocurridos durante la segunda mitad de la centuria previa, en particular del enfrentamiento entre las armadas británica y neerlandesa. El ascenso de esta última fue sellado por la victoria frente a los españoles en la batalla de las Dunas (1638). Durante las siguientes décadas, la hegemonía alcanzada por las Provincias Unidas de los Países Bajos se vería amenazada por los británicos, que dependían más que nada del poderío naval para defender sus intereses. Con miras a lograr el control comercial y de los mares, entre 1652 y 1674 estos dos adversarios llevaron adelante tres guerras. Los británicos contaron con varias ventajas importantes, tales como una armada mejor organizada, que mantenía una posición táctica favorable (a barlovento de las Provincias Unidas). Además, sus barcos de guerra estaban contruidos para operar

⁹ Las alianzas suponían una ventaja notable en lo que a cantidad de efectivos refería. La flota de una nación, por ejemplo, podía verse acrecentada casi de inmediato gracias a la unión entre los países, situación que, sin duda, debía tener serias implicaciones en la geoestrategia del momento. En tiempos de guerra, las coaliciones no siempre fueron satisfactorias, en particular debido a los problemas suscitados por el comando compartido de las operaciones navales (Reynolds 2000:19,22).

en mares estrechos y se encontraban mejor artillados. En cambio, los neerlandeses no contaban con una marina de guerra regular al momento de estallar la guerra. Luego de varias derrotas, la situación mejoró notablemente para estos últimos hacia 1665. A partir de allí, vencieron a los británicos en la batalla de Medway (1667) y, entre 1672-1673, a la flota combinada anglo-francesa. En 1688, Guillermo de Orange destronó a Jacobo II de Inglaterra y al año siguiente fue proclamado rey con el nombre de Guillermo III.

Entretanto, Francia se dispuso a crear una armada renovada. La supervivencia de este país no dependía en igual medida que en los anteriores de su poderío naval. Históricamente, sus esfuerzos se orientaron sobre todo al continente, y en consecuencia a desarrollar un ejército fuerte (de modo semejante a España, salvando las diferencias). Pese a los esfuerzos realizados por Richelieu durante el segundo cuarto del siglo XVII para convertir a Francia en una potencia naval, y a su breve éxito, hacia 1661, al momento de asumir Jean-Baptiste Colbert como ministro de marina de Luis XIV, la Marina Real estaba en condiciones muy pobres. Pero los altos ingresos de los que disponía Francia en aquel entonces le permitieron desarrollar un programa de construcción naval sin igual en la historia europea. Entre 1665 y 1670 fueron botados al menos 65 barcos de guerra, entre los que se encontraban los enormes navíos de línea de tres puentes. Colbert logró darle a Francia, pese a la falta de una fuerte tradición naval, una armada poderosa. Empero, este país no llegó a alcanzar el nivel de las marinas mercantes y la extensión del comercio que tuvieron los otros dos estados. En 1689, la Marina Real debió enfrentar a una flota combinada anglo-neerlandesa, pero el desafío fue demasiado. Los franceses fueron derrotados en el cabo de La Hogue en 1692 y, desde entonces, sus fuerzas navales comenzaron un marcado proceso de declive.

A diferencia de las anteriores guerras anglo-holandesas, en aquella oportunidad se enfrentaron dos potencias con una extensa experiencia combates navales premeditados (entre flotas) y una potencia eminentemente continental. Luis XIV, debido a las restricciones financieras, debió priorizar el ejército en detrimento de la marina. De allí en más, Francia abandonó su pretensión de lograr dominar los mares y se inclinó a una política de guerra de corso: por un lado, a debilitar el tráfico mercante mediante sus barcos de guerra y corsarios, con miras a debilitar la economía del enemigo; y por el otro, a proteger a los convoyes que

abastecían a su propio ejército. A la par, Gran Bretaña reafirmó su estrategia naval ofensiva, de búsqueda y destrucción de las flotas enemigas. En tierra, como vimos, buscó aliados continentales, que fueron quienes proveyeron el grueso de los ejércitos. Las fuerzas anglo-neerlandesas volvieron a vencer a los franceses, ahora aliados con los españoles, en la Guerra de Sucesión Española, 1702-1714, lo que selló la superioridad naval de esta potencia insular.

Las armadas de Francia y España, que yacían deterioradas, fueron repuntando a lo largo de las primeras décadas del siglo XVIII. De resultas, estas dos potencias borbónicas fueron los principales contendientes de Gran Bretaña hasta comienzos del siglo XIX. No obstante, nunca constituyeron por sí solos una real amenaza al poderío naval británico. Por tal motivo, más de una vez actuaron de forma conjunta. Los neerlandeses, que habían sido aliados de los británicos —la alianza perduró hasta la muerte de la reina Ana, en 1714—, descuidaron su armada; en el largo plazo, terminaron por perder gran parte de sus barcos. La Paz de Utrecht inauguró un período de relativa tranquilidad entre estas potencias, que duró alrededor de un cuarto de siglo. De allí en más, franceses y españoles se verían involucrados en varios combates navales contra la Real Armada británica, pero pocas veces fueron capaces de ofrecerle una seria resistencia.

El siguiente enfrentamiento marítimo entre estas potencias fue la Guerra de la Oreja de Jenkins, que pronto pasó a formar parte de la Guerra de Sucesión Austríaca, de carácter continental (1739-1748). Durante estos años, los británicos buscaron mermar el monopolio comercial de España en las Indias Occidentales, y a la vez oponerse a la Francia de Luis XV. Gran Bretaña, Austria y Holanda se enfrentaron a aquellos países, que estaban aliados con el reino de Prusia. Las posesiones españolas en América (e.g. Cartagena, Cuba y San Agustín) constituyeron uno de los principales objetivos de los británicos. Los intentos por tomar estos sitios no fueron exitosos, aunque lograron apoderarse de la base francesa de Luisburgo, en Nueva Escocia. En 1743, Francia y España planearon invadir Gran Bretaña, conquistar los Países Bajos austríacos y recobrar algunos territorios del Mediterráneo (e.g. Gibraltar y Menorca). En un momento en que los Países Bajos austríacos y holandeses se vieron fuertemente golpeados, la Flota Occidental británica, al mando del Almirante George Anson, fue decisiva para proteger el tráfico comercial aliado, bloquear los convoyes enemigos e impedir la

invasión. Dejando a un lado la táctica formalista, y siguiendo una modalidad de caza, este logró derrotar y capturar a varios buques franceses frente al cabo Finisterre, el año de 1747. A los pocos meses, el Almirante Edward Hawke volvió a derrotar a una fuerza naval francesa en aquellos lares, logrando capturar a varios barcos de línea. Al finalizar la guerra, los franceses abandonaron las tierras austríacas y restituyeron la ciudad de Madrás, en la India, a los británicos, a cambio de Luisburgo.

En los años siguientes, Francia y España reanudaron su programa de construcción naval y sus fuerzas combinadas se pusieron a la par de Gran Bretaña. Luego de un par de enfrentamientos entre las fuerzas navales de esta y Francia, que tuvieron lugar en Norteamérica y el Mediterráneo, ocurridos en 1755, se desató la guerra entre ambos países. Sobrevino entonces la conocida Guerra de los Siete Años (1756-1763). Los colonos británicos de América del Norte también la conocieron como Guerra Francesa e India. Los principales teatros de operaciones fueron las colonias de ultramar, tanto en América como en la India. Los franceses, además de acabar con la hegemonía británica dentro y fuera de Europa, buscaron desestabilizar el poder prusiano de Federico el Grande. Para ello, entabló alianzas con Austria, Rusia y Suecia. Gran Bretaña decidió bloquear los puertos franceses y tomar las medidas necesarias para impedir la invasión de las Islas, proteger el comercio y la ciudad de Nueva York, amenazada por un posible ataque desde Quebec. Hawke, con su principal flota en los Accesos Occidentales, protegió las costas británicas e interceptó al comercio francés. El nuevo gabinete de Jorge II, liderado desde mediados de 1757 por William Pitt el Viejo, significó una importante ventaja para los británicos. Los ejércitos prusianos, financiados por estos, lograron varias victorias en el continente; por otro lado, en el mar, las Escuadras Occidental, Oriental y del Mediterráneo, fueron destinadas a bloquear las costas francesas y a acabar con su marina de guerra y mercante. Como base para el bloqueo, los británicos tomaron la bahía de Quiberón —allí, en 1759, habían derrotado a los franceses, desbaratando sus planes de invadir Escocia— y Belle-Île, en Bretaña. Uno de los aspectos sobresalientes de la estrategia de Pitt fue ordenar a los comandantes del ejército y la armada el apoyo mutuo de sus fuerzas, y que llevaran a cabo operaciones anfibas en las costas europeas y de ultramar. España entró al conflicto a comienzos de 1762, y sus posesiones fueron objeto de la misma

estrategia de bloqueo por parte de Gran Bretaña. Las acciones llevadas a cabo por almirantes dinámicos como Hawke, Boscawen, Rodney y Saunders, llevaron a esta última a la victoria y a consolidar su primacía naval a escala global. En palabras de Rodger 2006: "Pitt fue el primer hombre que convirtió en realidad el viejo mito nacional del poder naval" (Rodger 2006:290; la traducción es personal).

Gran Bretaña sufriría un revés años más tarde, durante la Guerra de la Revolución Norteamericana (1775-1783), en la que una Francia renovada tuvo la oportunidad de sobresalir. Esta, junto con España, se había dedicado en el ínterin a fortalecer sus armadas, esta última con el objeto fundamental de proteger el imperio que aún conservaba en América, y que decidió extender. Debido a los costes que la guerra anterior le supuso a Gran Bretaña, esta tomó una serie de medidas que no fueron bienvenidas en sus colonias norteamericanas (e.g. les imprimieron cargas impositivas para financiar su propia defensa e intentaron impedir que contrabandearan con las Indias Occidentales franco-españolas). La situación, que fue escalando, derivó finalmente en el levantamiento de los colonos. Los franceses, aprovechando la ocasión, se alinearon con los Estados Unidos de Norteamérica luego de que se declararan independientes (julio de 1776) y le declararon la guerra a los británicos en 1778. Entonces, los británicos debieron lidiar tanto con los revolucionarios como con sus antiguos enemigos. Esta guerra dependió en esencia del poder naval, dado que la mayor parte de las acciones ocurrieron en los territorios de ultramar, en América y en el Océano Índico. En América, las fuerzas imperiales operaron a lo largo de las costas, abasteciendo sus posesiones e intentando bloquear los puertos y destruir el tráfico colonial por mar, pero el ejército del general George Washington tenía la ventaja en tierra, y además se vio favorecido por la asistencia militar de Francia. Aquel pronto elaboró una estrategia con esta última para neutralizar a la flota británica, objetivo que consideró la llave para alcanzar la victoria. Así, Francia repartió su flota entre las aguas norteamericanas y europeas. España ingresó a la contienda a comienzos de 1779 y sitió Gibraltar. Junto con su usual aliada, unieron sus fuerzas navales con miras a invadir Gran Bretaña, que en esta ocasión se vio superada numéricamente. Ante tal diferencia, el Almirante británico Richard Kempenfelt adoptó una estrategia que incluyó el patrullaje del Canal de la Mancha con escuadras de fragatas, que atacaron a los barcos mercantes enemigos (y neutrales) y protegieron

a los suyos, y la concentración de la Flota Metropolitana en los Accesos Occidentales, a la defensiva. Entretanto, reforzó su flota mediante un programa acelerado de construcción de nuevos barcos, y los dotó de una nueva arma: la carronada (véase el capítulo 8). En el exterior, continuó con sus acciones ofensivas, atacando los convoyes mercantes y colonias enemigas en las Indias Occidentales, presionando a los revolucionarios en Norteamérica, batiéndose con los franceses en la India y resistiendo el asedio español en Gibraltar. La situación se complejizó con la Liga de la Neutralidad Armada, formada a principios de 1780 por Rusia, Suecia y Dinamarca, que buscaron proteger sus mercantes del ataque británico en el Mar del Norte. Hacia finales de aquel año también se sumaron a la coalición los Países Bajos, que eran proveedores de los franceses y norteamericanos. A partir de 1781, las fuerzas navales de Francia realizaron una serie de acciones navales que condujeron a los británicos a la derrota. En el Índico, el Almirante Pierre André De Suffren impidió que estos se apoderasen de Ciudad del Cabo y logró además tomar la base naval de Trincomalee, en Ceilán. Mientras tanto, en América, el Conde de Grasse brindó su apoyo a Washington y al Conde de Rochambeau (al mando del ejército oficial francés) y derrotó a la escuadra del Almirante Thomas Graves frente a Virginia. Luego, De Grasse se unió con la escuadra francesa procedente de Newport y sitió Yorktown desde el mar, impidiendo la entrada de vituallas. La acción combinada con los ejércitos aliados llevó finalmente al rendimiento del general Lord Charles Cornwallis y, por extensión, a que Gran Bretaña reconociera la independencia Norteamericana. Frente a estos hechos, los británicos formaron un nuevo gabinete, que convocó a los retirados almirantes Keppel y Howe. Junto a otros comandantes agresivos y experimentados como Kempenfelt, Rodney, Hood y Hughes, durante 1782 y 1783 llevaron a cabo varias acciones contra las escuadras de Francia y España, en las que se priorizó la táctica de entrevero. Finalmente, con la celebración de la paz, se restableció la balanza de poder en Europa occidental. Gran Bretaña tornaría los ojos hacia la India y, unos años después, a su nueva colonia en Australia.

A finales de 1783, William Pitt el Joven asumió el cargo de Primer Ministro y se ocupó de inmediato del fortalecimiento de la flota. Al poco tiempo, esta alcanzó la paridad con las de Francia y España juntas. Asimismo, el Almirante Charles Middleton dispuso mejorar los barcos, mientras que Howe instituyó la táctica del

entrevero. La Real Armada británica, con una nueva generación de comandantes, volvería pronto a dominar los mares. Al cabo de algunos años, los levantamientos campesinos contra la aristocracia terrateniente desembocaron en las Guerras Revolucionarias Francesas o Guerras de Coalición (1793-1802). En esta oportunidad, Gran Bretaña se alió con Prusia, los Países Bajos, Austria y España. Mientras que los ejércitos de estos países se ocuparon de las luchas continentales, la primera recurrió a su clásica estrategia de bloqueo del tráfico marítimo francés. En el Mar del Norte, dependió de las armadas de Holanda, Rusia, Suecia y Dinamarca. De este modo, pudo emprender expediciones contra las colonias francesas en las Indias Occidentales. Francia, ante la incuestionable superioridad naval británica, decidió dedicarse a la guerra de corso. Las flotas apostadas en Brest y Tolón sólo ocasionalmente se vieron involucradas en enfrentamientos con las escuadras británicas. Uno de estos combates ocurrió el 1 de junio de 1794, cuando el Almirante Howe interceptó en el Atlántico a la flota de Brest que iba a escoltar un importante convoy de grano procedente de América. El citado almirante británico rompió la línea francesa y, luego de varios duelos singulares, logró vencer y capturar siete navíos de línea. Sin embargo, en los primeros años de la guerra, Francia avanzó sobre el continente y en 1795 invadió Holanda y se apoderó de su flota. La coalición se dividió en 1796 y, para peor, España decidió aliarse a Francia por medio del Tratado de San Ildefonso (esta relación perduraría hasta la invasión del territorio español por parte de las tropas napoleónicas, en 1808). Entonces, las fuerzas de ambos países pasaron a superar en número a los efectivos de que disponía Gran Bretaña, hecho que significó un duro golpe para esta última. A finales de aquel año, Francia intentó invadir Irlanda, operación que no tuvo éxito debido a las inclemencias climáticas. En 1797, las potencias aliadas renovaron su intención de invadir Gran Bretaña; sin embargo, en esta oportunidad la iniciativa fue frustrada gracias a la audacia del Almirante John Jervis (luego Conde de San Vicente) y el Comodoro Horacio Nelson, que vencieron a la flota española del Capitán General don José de Córdoba en el Mediterráneo. En ambas oportunidades, los británicos consiguieron apresar a varios navíos enemigos. Al año siguiente, una escuadra al mando de Nelson se dirigió hacia Egipto, enterada de los planes de invasión de Napoleón Bonaparte, adonde encontró y venció a la flota comandada por François-Paul Brueys, que perdió la vida al explotar el navío de 120 cañones *L'Orient* (1798), buque insignia de la flota (Fig. 2.3). Esta victoria

motivó la constitución de una segunda coalición contra las fuerzas imperiales, que se disolvió en 1801 con la derrota austríaca por parte del ejército napoleónico. Los británicos, apoyados por los turcos, lograron vencer a los franceses en Egipto, mientras que en el Báltico Nelson consiguió la rendición de los daneses en la Batalla de Copenhague, en abril de 1801, que abandonaron la Neutralidad Armada (conformada por Dinamarca, Suecia y Rusia). Al cabo de un tiempo, en 1802, las potencias enfrentadas firmaron la paz. Esta no duraría demasiado.



FIGURA 2.3 – DESTRUCCIÓN DEL NAVÍO FRANCÉS *L'ORIENT* (1798).

Título original, en inglés: *The Destruction of 'L'Orient' at the Battle of the Nile, 1 August 1798*. Óleo sobre tela realizado entre 1825 y 1827 por George Arnald. En la pintura se muestra la destrucción del barco insignia de la flota francesa durante la Batalla del Nilo, en la Bahía de Abukir (*Abu Quir*). En el centro puede apreciarse al navío de 74 cañones *HMS Swiftsure*, con las velas ondeando a causa de la explosión. Dimensiones de la pintura: 185,5 x 269 cm.

Fuente: National Maritime Museum, Greenwich, Londres. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Napoleón Bonaparte retomó las acciones bélicas en Europa en 1803. Frente a este poder, los británicos decidieron distribuir sus fuerzas navales en la costa atlántica, desde Brest hasta Ferrol, y en el Mediterráneo, para establecer un bloqueo de las escuadras francesas. Las facciones de la flota británica estaban preparadas para unirse frente a Ushant ante el inminente ataque francés. Asimismo, en 1805 se formó la tercera coalición de aliados continentales (Rusia, Austria y Suecia). Napoleón Bonaparte, por su parte, replicó la estrategia de ataque al comercio naval, y preparó simultáneamente un plan de ataque a Gran Bretaña. Para lograrlo, organizó un ejército y 2.000 barcasas de desembarco en Boulogne; y ordenó al almirante Pierre Charles de Villeneuve que llevara la escuadra de Tolón al Caribe, que presumiblemente sería perseguida por la flota del Mediterráneo, que comandaba Nelson. Así, el emperador francés planeaba dividir la flota británica y concentrar una flota franco-española a tiempo para cruzar el Canal de la Mancha y desembarcar en Gran Bretaña. Tal como había sido concebido, Nelson persiguió al almirante francés hasta América, que una vez enterado de su llegada partió nuevamente hacia Francia para unirse al resto de la fuerza invasora. Nelson, enterado de ello, se dirigió de inmediato hacia Cádiz para custodiar el Mediterráneo; una vez allí, marchó al norte para reunirse con los almirantes Sir William Cornwallis y Sir Robert Calder, que comandaban las dos escuadras de la flota principal. A partir de entonces, los franceses abandonaron su plan de ataque por mar. Villeneuve regresó a Cádiz y Nelson se hizo cargo del bloqueo abierto de la flota francesa. En octubre, cuando Napoleón Bonaparte le ordenó a su almirante dirigiese al Mediterráneo, para apoyar al ejército francés que estaba luchando en Italia, Nelson interceptó la flota franco-española al sur de Cádiz y la venció en la aplastante y decisiva Batalla de Trafalgar. De allí en más, no hubo ningún otro intento serio por derrotar a las fuerzas navales británicas. Napoleón Bonaparte continuó su lucha en tierra, adonde logró vencer a los ejércitos de las demás potencias aliadas. Asimismo, buscó construir nuevamente una flota capaz de romper el bloqueo británico, por medio de un programa de construcción y la anexión de las escuadras de los países conquistados. Dentro de este contexto, en 1808 invadió España y se apoderó de su flota, compuesta por 28 navíos de línea. Allí coronó a su hermano José I Bonaparte, que mantuvo en el poder hasta 1814. Mientras tanto, los británicos continuaron el bloqueo continental y fortalecieron su posición en Portugal y España. En 1812, Sir Arthur Wellesley (luego Duque de

Wellington) llevó a cabo una ofensiva terrestre en España y logró capturar Madrid. En aquel entonces, Napoleón Bonaparte sufrió otro duro golpe en Rusia, lo que motivó la formación de la última coalición entre Gran Bretaña, Rusia, Prusia, Austria y Suecia. Esta vez, los ejércitos aliados avanzaron desde diferentes frentes sobre Francia y lograron vencerla.

Terminada la guerra contra Napoleón Bonaparte, en 1815, Gran Bretaña se posicionó de forma indiscutible como la principal potencia marítima a nivel mundial, lugar que seguiría ocupando cien años más tarde. Las circunstancias económicas, políticas y sociales que culminaron en esta situación —que aquí únicamente nos atrevimos a esbozar de manera sucinta—, han sido materia por excelencia de la historia. Dejamos entrever que el conflicto fue un factor transversal al proceso. Veamos ahora otro de los aspectos que caracterizó al contexto de la época, que está estrechamente ligado con la tecnología naval: la industrialización europea.

EL PROCESO DE INDUSTRIALIZACIÓN

La producción artesanal y fabril

Siguiendo a Cameron, entendemos que la industrialización consistió en un complejo proceso de cambios económicos, así como políticos, sociales, etc., que ocurrieron a medida que las poblaciones europeas pasaron de estar organizadas en torno al agro a dedicar sus esfuerzos y recursos a la producción de manufacturas y servicios (Cameron 1985:2). Como vimos, ello ocurrió en el marco de una economía capitalista.

Entre los países de Europa, Gran Bretaña fue aquel que experimentó los más profundos y relativamente acelerados cambios en ciertos ámbitos de la industria desde aproximadamente mediados del siglo XVIII. Pero, como bien notó Hobsbawm, esta situación estuvo precedida por dos siglos de crecimiento económico, que sirvió para sentar sus cimientos (Hobsbawm 1977:35). A este país le siguieron poco tiempo después otros del continente, tales como Bélgica, Alemania, Suecia y

Francia,¹⁰ que pudieron aprovechar la experiencia de aquel, si bien presentaron algunas particularidades (véase Cameron 1985).¹¹ El proceso de industrialización afectó y se vio asimismo influido por transformaciones no sólo económicas, sino también políticas y sociales, al interior y allende las fronteras insulares.¹² En las siguientes líneas intentaremos trazar, aunque sea someramente, sus principales características, sobre las que han discurrido en extensión y detalle numerosos historiadores.

La industrialización europea fue el resultado de una sumatoria de diversos factores. Los historiadores han reconocido esta situación, aunque muchas veces le han otorgado preeminencia a uno en particular. Hartwell (1965) realizó un análisis crítico del lugar que ocuparon los principales aspectos utilizados corrientemente para explicar el acelerado crecimiento que experimentó el siglo XVIII, a saber:

Acumulación de capital: incremento de las ganancias procedentes de la agricultura (mostró una mayor productividad) y el comercio; tasas de interés más bajas; aumento de las inversiones (en transporte, canales, caminos, maquinaria, etc.); crecientes expectativas de beneficio; etc.

Innovaciones (cambios en la tecnología y organización de la agricultura e industria): nueva y mejorada maquinaria; fuentes de energía novedosas (e.g. máquina de vapor); producción a gran escala (e.g. fábricas); mayor división del trabajo, etc.

Existencia de elementos favorables: coque, hierro y otros minerales necesarios; tamaño propicio de la economía (ganancias a corto plazo); sitios favorables para el crecimiento de los mercados (América y Asia); fuerza de trabajo especializada; mayor cantidad de mano de obra (producto en parte

¹⁰ Es notable que el proceso de industrialización en Francia no se haya producido más temprano, si se tiene en cuenta la relevancia política y económica de este país —verdadero centro de aprendizaje e iluminación— dentro del contexto europeo (McCloy 1952:7-8). Francia no habría gozado de las mismas condiciones favorables que tuvo Inglaterra para el temprano desarrollo industrial durante el siglo XVIII, aunque sobre esto no hay total acuerdo entre los especialistas. Según Marks, este país atravesó serias dificultades debido a la relativa escasez de combustible, a las revueltas políticas y al estado poco avanzado de la agricultura (Marks 2007:194).

¹¹ Para mayor información sobre el desarrollo del capitalismo comercial, financiero e industrial en diferentes regiones de Europa, véase Sée (1969).

¹² El impacto que tuvieron estas transformaciones sobre el reordenamiento de las sociedades ha llegado a compararse con el que produjo el inicio de la agricultura diez mil años antes (Ribeiro 1971:91).

del crecimiento previo de la población); iniciativa e inventiva empresariales; etc.

Libertad y oportunidad en el mercado (*laissez faire*): secularismo, racionalismo e individualismo económico (como resultado de un cambio a largo plazo a nivel filosófico, religioso, científico y legal); movilidad social; propaganda para el libre emprendimiento; búsqueda de riquezas; etc.¹³

Expansión del mercado: incremento del comercio internacional; aumento del consumo doméstico; disminución relativa de los precios; crecimiento de la demanda; etc.¹⁴

Es notorio el tenor que adquirieron la economía e industria británicas desde la segunda mitad del siglo XVIII.¹⁵ No obstante, es importante hacer hincapié en que las transformaciones que llevaron a Gran Bretaña a convertirse en el primer Estado industrializado de la historia, fueron el resultado de un proceso que hunde sus raíces muy atrás del “momento” denominado Revolución Industrial. Este término, acuñado hacia principios del siglo XIX y posteriormente aceptado en el ámbito académico, denota la idea de una ruptura entre una etapa y otra, oscureciendo la continuidad que existió en torno a diferentes ámbitos de la sociedad. Está tradicionalmente asociado, además, con la idea de las grandes invenciones, con la

¹³ El proceso de industrialización estuvo acompañado por nuevas ideas teóricas en torno a la economía y la política (luego economía política), que coadyuvaban con su expansión. En general, el espíritu ilustrado de la época (secular, racionalista y progresista) tendió a liberar la actividad económica de todas las trabas antiguamente impuestas, en beneficio de la iniciativa individual (Ducassé 1973:123-126; Hobsbawm 2006:38). Por caso, podemos citar la obra capital de Adam Smith *The Wealth of Nations*, publicada en 1776 (Smith [1776] 2010). El cambio de mentalidad trascendió el ámbito estrictamente económico (véase el capítulo 3).

¹⁴ Este autor enfatizó en los avances tecnológicos y organizativos, la expansión de recursos y el crecimiento de la población; destacó el rol de los nuevos valores sociales, así como en el aumento de la demanda en el mercado interno; restó lugar a la acumulación de capital como preludio o acompañamiento de la industrialización; y resaltó que muchos de los factores antedichos no fueron variables independientes, sino manifestaciones del propio crecimiento, en especial en el caso del incremento del capital, las innovaciones y el crecimiento de la población (Hartwell 1965:180).

¹⁵ Para muchos, los índices estadísticos muestran que la economía del país experimentó un franco impulso ascendente o despegue (*take-off*, en inglés) en la década de 1780 (e.g. Hobsbawm 2006:35,36). Debe entenderse, sin embargo, que este fue el resultado del efecto acumulativo de un conjunto de sectores de la economía que, siendo ya importantes, experimentaron un rápido crecimiento y estimularon una serie de cambios que posibilitaron a la vez un amplio incremento sostenido del producto *per capita* (Hartwell 1965:181,182).

“liberación de Prometeo”.¹⁶ En palabras de Ashton: “el sistema de relación humana llamado capitalismo, se originó mucho antes de 1760, y alcanzó su pleno desarrollo mucho después de 1830: existe el peligro de ignorar el factor esencial de continuidad” (Ashton 1996:9).¹⁷ En lo que a los aspectos materiales respecta, la introducción de técnicas novedosas, el desarrollo de las industrias —de los bienes de consumo y, sobre todo, de capital— y el crecimiento del comercio, son prueba de esta continuidad. La cuantiosa evidencia a favor del carácter gradual de la industrialización, tanto en Gran Bretaña como, y sobre todo, en otras partes de Europa, fue discutida por Cameron (1985) entre otros autores influyentes.

Durante gran parte del siglo XVIII, la mayor parte de la población en Gran Bretaña estaba dedicada al trabajo de la tierra, de donde provenían todos los medios básicos de subsistencia. Una porción importante de las industrias, entre estas la metalúrgica, estaba fuertemente conectada con el mundo agrícola, i.e. con la economía campesina (Hobsbawm 2006:18; Marks 2007:142). Aquel país importaba una diversidad de materias primas (e.g. madera, hierro forjado y cáñamo, los cuales utilizaba para construir y mantener sus buques; así como algodón, lino, lana, cuero y seda, entre otros, para la producción de manufacturas) y productos de consumo (e.g. té y azúcar). Y, por otro lado, era exportaba objetos manufacturados de toda clase (Ashton 1996:59-61,176). Este comercio se celebraba mayormente con los países de Europa continental, especialmente con los más cercanos. La producción manufacturera rural, que se vendía en el exterior, tuvo un papel destacado en la formación del capitalismo (Kriedte et al. 1986:11,18,19). En particular, la expansión del mercado textil internacional tuvo un rol decisivo durante los inicios del proceso de industrialización (véase Hobsbawm 1995; Wolf 1993).

Sin embargo, los cambios no afectaron de forma semejante y simultánea a los diferentes ámbitos de la economía. Desde principios del siglo XVIII, existió una serie de “industrias preindustriales” dedicadas a una amplia diversidad de mercaderías. Mientras que con el tiempo algunas de estas cayeron en decadencia, otras se

¹⁶ Para mayor información sobre el uso del término por parte de diferentes estudiosos y sus implicaciones analíticas, consultar el trabajo de Cameron (1985).

¹⁷ Kriedte y colaboradores, para hacer hincapié en el período de transición, que combinaba ciertos elementos de la sociedad agraria feudal y del capitalismo industrial emergente, hablaron de *industrialización antes de la industrialización* (Kriedte et al. 1986:302).

expandieron; tal fue el caso de la industria artesanal metalúrgica (Hobsbawm 1995:91,92). De hecho, durante muchos años los pequeños talleres productivos tuvieron mayor importancia con relación al número de empleados y la generación de capitales que las fábricas mecanizadas y centralizadas (Kriedte et al. 1986:11). Tomando por caso la producción textil, largamente considerada como ícono de la industrialización británica, antes de la década de 1840 representaba menos de un 5 % de la fuerza de trabajo no agrícola, que en su conjunto producía un 10 % de la producción industrial de Gran Bretaña (Harley 1982, citado en Cameron 1985:4). Más aún, hacia mediados del siglo XIX, la mayor parte de la población seguía vinculada a las labores del agro, situación que pone de manifiesto el estado de industrialización en el que se encontraba Gran Bretaña por aquel entonces: “El curso se estableció hacia el ‘estado de la industria’, pero el viaje aún no estaba ni a la mitad” (Clapham 1983, citado en Cameron 1985:6; la traducción es personal).

Antes de las fábricas, las actividades laborales estaban organizadas de modo flexible, bajo el denominado sistema de industria doméstica (*putting-out system*, en inglés).¹⁸ Este sistema también funcionó en otros países de Europa continental (e.g. Francia y Alemania) y fue el resultado de la progresiva desintegración del mundo feudal a partir de la Revolución Francesa (1789).¹⁹ Los principales actores de este sistema fueron agricultores y productores de manufacturas, por un lado, y comerciantes e intermediarios, por el otro; estos mantenían entre sí una relación estructuralmente desigual. Los productores, a excepción de la agricultura, solían trabajar en talleres ubicados en sus propias casas (con herramientas propias o alquiladas, y con el material que les era entregado), donde colaboraba toda la familia bajo un régimen a destajo, en el que percibían una remuneración en relación con la cantidad de producto elaborado (Ashton 1996:65; Hobsbawm 2006:27; Kriedte et al. 1986:11-26). Hombres y mujeres pivotaban entre distintas

¹⁸ Esta modalidad de trabajo podría ser considerada, siguiendo la propuesta de C. Marx, como parte de una fase de acumulación originaria, en el camino hacia la proletarianización de los productores (Ciafardini 2005:134).

¹⁹ Las implicaciones políticas, económicas y sociales de este acontecimiento fueron tratadas por numerosos investigadores. Con el desplazamiento de la aristocracia del Antiguo Régimen, se puso fin al sistema feudal. Las masas rurales y urbanas lograron romper los vínculos de dependencia del régimen señorial y cobró relevancia el poder económico e intelectual de la burguesía, que yacía a la cabeza de las finanzas, el comercio y la industria. La proclamación de la libertad política y, sobre todo, económica, allanó por fin el camino para el desarrollo del capitalismo industrial (véase Soboul 1986, entre otros).

ocupaciones, i.e. agrícolas y manufactureras, de acuerdo con la época del año. De este modo, algunas minas, altos hornos y pequeños talleres cerraban durante el verano y principios del otoño, cuando era época de cosecha. En el caso de los sectores que requerían de un trabajo más especializado, los obreros eran contratados por el término de hasta un año (Ashton 1996:62-67). Los comerciantes ocuparon un lugar central dentro del sistema, ya que eran los encargados de comprar la producción de las unidades económicas dispersas y venderla en los mercados regionales e internacionales (Hobsbawm 2006:27,44).

A lo largo de la segunda mitad del siglo XVIII se produjo un paulatino crecimiento de las unidades industriales, que estaban compuestas por empresas familiares o consorcios de amigos. Los pequeños industriales provenían en gran parte de las filas de los operarios de pequeños establecimientos. El capital invertido inicialmente no era mayor al que podía proporcionar con sus ahorros un fabricante casero o un jornalero. Al respecto, la estrategia de acumulación de capital parece haber sido similar en la mayoría de los casos: cada propietario se imputaba escasos jornales (e.g. semanales), restringía sus gastos caseros y reinvertía sus beneficios en la empresa, aunque también era común hipotecar alguna propiedad (generalmente la propia fábrica) con un modesto interés, o pedir algún préstamo a empresarios ocupados en actividades similares o a los bancos privados provinciales, a fin de montar su propio taller (Ashton 1996:113-126). Estas personas usualmente continuaron trabajando a la par de los demás productores (Mijailov 1964:75,76). Las situaciones se caracterizaron por ser muy variables, según la actividad, el lugar, los capitales disponibles y la iniciativa de cada empresario. Por ejemplo, en muchas de las industrias metalúrgicas o de las múltiples emplazadas en Londres, había una marcada división del trabajo o especialización (Ashton 1996:66).

En definitiva, a lo largo de la segunda mitad del siglo XVIII y primera del siglo XIX la modalidad de producción artesanal (en pequeños talleres) sufrió profundos cambios con respecto a la organización del trabajo y los medios técnicos empleados, a consecuencia de la introducción de diferentes innovaciones. La nueva empresa productiva de esta época, que vino a trastocar aquellas bases, fue la fábrica.

La organización y producción en las fábricas

Muchos de los problemas habituales entre los diferentes actores que operaban de forma más independiente, menos organizada, bajo la modalidad de trabajo a destajo (individual y discontinuo), eran consecuencia de un escaso control de las actividades a lo largo del proceso de producción.²⁰ Con el advenimiento de las fábricas fue posible, gracias a la centralización de las diferentes etapas de producción en un único sitio y a la creciente especialización de las operaciones, imprimirle una mayor continuidad y eficiencia al proceso.

El principal objetivo de la concentración industrial respondió a ello más que al maquinismo, que si bien fue importante dentro de este contexto, tan sólo reforzó una transformación que estaba en proceso (Sée 1969:106). Siguiendo a Dobb, con la revolución industrial:

“...el capitalismo, sobre la base del cambio técnico, realiza su propio, específico proceso de producción fundado en la unidad colectiva de producción de gran escala, la fábrica, con los que se consuma el divorcio final entre el productor y su propiedad sobre los medios de producción (o lo que de ella le quedaba) y se establece una relación simple y directa entre capitalista y obreros asalariados” (Dobb 1971:34).

No debe perderse de vista, como ya mencionamos, la importancia que tuvo durante mucho tiempo la industria doméstica. Al respecto, Kriedte y colaboradores afirmaron:

“No se puede negar que las primeras centralizaciones de la manufactura engendraron relaciones de producción capitalista con mucha más rapidez y más concretamente que la producción doméstica masiva; pero también es cierto que la industria doméstica fue durante el período de transición un elemento cuantitativamente mucho más importante, tanto por el número de personas empleadas en ella como por la cantidad de valor creado (Kriedte et al. 1986:20,21).

²⁰ El uso de pesas y medidas falsas, la exigencia de manufacturas por una cantidad superior a la que podía producirse con la materia prima suministrada y la irregularidad de los pagos, son algunos de los problemas con los que se enfrentaban los pequeños productores. Este tipo de situaciones eran más cotidianas en los ámbitos periféricos (para mayor información sobre los problemas suscitados de la relación entre los diferentes actores, véase Ashton (1996:62-67).

Muchas de estas fábricas comenzaron siendo pequeños emprendimientos, con poca inversión inicial. Dado que podían financiarse con los beneficios que reportaban, el desarrollo industrial estuvo al alcance de personas con escaso capital inicial, i.e. unidades familiares o asociaciones de unos pocos emprendedores (Hobsbawm 1977:39). Ashton expuso el caso de Samuel y Aaron Walker, que en 1741 comenzaron trabajando en una antigua herrería y, al cabo de años de incesante labor e inversiones, llegaron a levantar una importante compañía metalúrgica. Según este autor: “los registros de una compañía tras otra no hacen sino repetir la historia de los hermanos Walker...” (Ashton 1996:115). En la figura 2.4 podemos apreciar el interior de una de las fundiciones de cañones de Walker (Rotherham o Conisbrough) ilustrada por la mano de Joseph Mallord William Turner (1775-1851) alrededor de finales del siglo XVIII.

Algunas ramas importantes de la industria, tales como la textil, carbonífera y metalúrgica, surgieron y crecieron dentro del ámbito rural, ligadas fuertemente a las actividades agrícolas. Muchas empresas a gran escala estuvieron asociadas a este entorno (Hobsbawm 1977:55,56; Ashton 1996:38,44). No obstante, el cambio fundamental se dio cuando algunos empresarios decidieron desplazarse hacia las ciudades, que hasta entonces habían oficiado principalmente como centros mercantiles. Allí establecieron sus fábricas e incorporaron cada vez más obreros especializados, que trabajaron por contrato durante largos períodos (en ocasiones por varios años). Los obreros, que también migraron hacia los centros urbanos, debieron adaptarse al ritmo de trabajo al interior de los establecimientos y, en muchos casos, instruirse en nuevas técnicas. Paulatinamente, las industrias domésticas fueron perdiendo terreno. Las circunstancias laborales al interior de las fábricas ocasionaron serios inconvenientes, que se acentuaron especialmente en el transcurso del siglo XIX (véase Ashton 1996:130-150, para una descripción pormenorizada de este proceso).²¹

²¹ Estos problemas estuvieron relacionados con los cambios en torno a la organización interna de las fábricas, incluso de las más modestas, adonde las personas debieron cumplir con un tipo de actividad al que no estaban habituadas, viéndose imposibilitadas de desplazarse del modo en que solían hacerlo. Durante el siglo XIX, las condiciones del ambiente al interior de las industrias fabriles urbanas llegaron a ser comparadas con las que padecía la gente en los presidios (véase Mijailov 1964). Por otro lado, pese a la creciente popularidad de las innovaciones a lo largo del siglo XVIII, hubo manifestaciones en contra del desarrollo y el uso de máquinas en diferentes países (McCloy 1952:3). Los motivos de estas últimas, que alcanzaron un punto álgido con los movimientos de trabajadores que llegaron a destruir varias instalaciones industriales de la época, estaban



FIGURA 2.4 – FUNDICIÓN DE CAÑONES.

Título original, en inglés: *The Interior of a Cannon Foundry*. Acuarela realizada hacia 1797-1798 por el artista británico Joseph Mallord William Turner. Representa el interior de una de las fundiciones de cañones de los hermanos Walker (Rotherham o Conisbrough). Dimensiones de la pintura: 24,7 x 34,7 cm.

Fuente: © Tate, Londres. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

El proceso estuvo acompañado por un número importante de innovaciones, tanto en la organización del trabajo como en los medios técnicos utilizados para la producción (véase Bruland y Mowery 2006). Uno de los casos más emblemáticos fue el del incremento de la productividad que generó la mecanización del trabajo en los rubros del hilado y, tiempo después, del tejido (Wolf 1993:330; Hobsbawm 1977:57,58). Por otro lado, en el ámbito de la metalurgia, el uso del coque para la fundición y forja del hierro permitió el surgimiento de empresas integrales, adonde

relacionados con el desplazamiento que estos sufrieron a raíz de la introducción de los nuevos medios mecánicos de producción.

se llevaban a cabo todas las etapas del proceso de producción (Ashton 1996:81). Las industrias en las que estos cambios ocuparon un lugar protagónico durante los inicios de la industrialización, constituyeron un sector restringido de la economía nacional. Muchos rubros, e.g. aquellos relacionados a los bienes de consumo, no sufrieron una transformación significativa sino hasta bien entrado el siglo XIX (Ashton 1996:111; Hobsbawm 2006:39). De modo similar, en las diversas industrias predominó el músculo humano durante mucho tiempo. Junto a este, la fuerza motriz hidráulica se utilizó en los establecimientos fabriles como fuente de energía para accionar un gran número de maquinarias. Por ello, muchas instalaciones manufactureras se establecieron cerca del curso de los ríos. La producción a gran escala, a la postre, requirió de la fuerza del vapor (Ashton 1996:30).²² Por otro lado, a fines del siglo XVIII comenzó a prefigurarse el sistema fabril de partes intercambiables. La creciente estandarización a la que estuvieron sujetos muchos bienes utilizados en el ámbito naval (e.g. la clavazón y la motonería), puede considerarse como preludio de este sistema, que se instaló en la industria británica y norteamericana durante las primeras décadas del 1800. En EE.UU., por caso, cubrió primeramente los rubros de relojería y armas (Brack 2008:8).

La industria de la construcción naval, dada su relevancia, demandó la concentración de capitales y fue jalón del crecimiento de otras industrias, necesarias para la fabricación de los barcos (Ciopardini 2005:130,131). En particular, los arsenales navales fueron importantes centros fabriles; allí se llevaban a cabo diversas actividades de producción especializadas, que estaban bajo el control directo de la armada. No es arriesgado decir que constituyeron uno de los primeros establecimientos modernos de esta índole.²³ Hacia mediados del siglo XVIII, la Real Armada británica era por lejos la más costosa y demandante de todas las responsabilidades administrativas del Estado, y se había convertido en la mayor

²² En Inglaterra, gracias a las mejoras técnicas surgidas en torno a la energía hidráulica, esta permaneció competitiva frente al vapor incluso hasta la mitad del siglo XIX. La relevancia de esta fuente de energía fue aún mayor en el continente, donde perduró durante mayor tiempo. En el caso de Francia, debido por un lado a la limitada productividad de su industria carbonífera y, por el otro, a las contribuciones que realizaron científicos locales en torno al uso de la energía hidráulica, el proceso de industrialización dependió fuertemente de esta. Por tal razón, en esa región y en otras adonde la industria del carbón mineral fue relativamente modesta, el proceso presentó características distintivas (véase Cameron 1985:14).

²³ En el transcurso del siglo XVII los arsenales franceses contaron con talleres de cordelería y de velas, astilleros, aserraderos y fundiciones (Dickie et al. 2012:125).

organización industrial del mundo occidental (Rodger 1996:11). Profundizaremos el tema de las industrias metalúrgicas asociadas a este ámbito en los capítulos 6 a 8.

La metalurgia de la época

Vimos líneas arriba que durante la mayor parte del siglo XVIII las principales industrias en Gran Bretaña se desarrollaron primeramente dentro del ámbito rural. Este fue el contexto en el que floreció la industria del hierro y el cobre, tanto en Gran Bretaña como en otros países de Europa continental.

El hierro era empleado para fabricar una multiplicidad de productos, entre los que destacaron los bienes de capital (e.g. para la construcción de barcos, maquinaria industrial y estructuras). El Estado fue probablemente el factor individual más relevante para el desarrollo de la industria del hierro. Esta fue estimulada históricamente durante los períodos de guerra, debido a la mayor demanda de armamento, en particular de cañones, con cuya producción se identificó la fundición de este metal (Lardner 1831, citado en Hobsbawm 1995:110). En Gran Bretaña, la producción de hierro estuvo signada por algunas innovaciones técnicas desarrolladas a lo largo del siglo XVIII, que favorecieron su crecimiento.

La obtención del hierro consistía en los siguientes pasos: 1) el mineral férreo se reducía en altos hornos y se obtenía así fundición de hierro que se colaba en lingotes; 2) el producto se refinaba por medio de un pequeño horno; 3) el material resultante se martillaba en una fragua, hasta conseguir barras de hierro forjado; y 4) estas últimas eran cortadas en láminas (a máquina) y pasadas por rodillos, para transformarlas en varillas. Los productos intermedios se empleaban para distintos fines. El hierro colado (fundición), que es comparativamente duro y frágil, servía para fabricar utensilios domésticos, tales como ollas y sartenes, así como piezas de artillería (cañones y municiones). En hierro forjado, en cambio, se utilizó para manufacturar herraduras y todo tipo de indumentaria ecuestre; pernería y clavazón; picos, palas y demás instrumentos para el agro y la construcción; cadenas, alambres y una gran diversidad de herramientas. Asimismo, fue

implementado dentro del ámbito naval, para la manufactura de numerosos elementos de los barcos (e.g. anclas, caña de timón, elementos de sujeción y diversos herrajes) (Ashton 1996:50,51).

Las fuentes de abastecimiento de hierro en Gran Bretaña eran abundantes y dispersas. Pese a que, por esta razón, los mineros no podían controlar el mercado, los dueños de los altos hornos de la zona de Gales del Sur y Lancashire solían fijar los precios de las materias primas y del hierro en lingotes que producían. Durante el último cuarto del siglo XVIII, los herreros de las áreas centrales comenzaron a agruparse y, con los años, los productores de las regiones de Derbyshire y Yorkshire, así como los de Escocia y Gales del Sur, realizaron asociaciones para beneficio mutuo. Cosa semejante hicieron los fabricantes de artefactos emplazados en las localidades de Birmingham, Bristol, Liverpool, Sheffield, Stafford, etc. Muchas de las agrupaciones amistosas que surgieron en esta época tuvieron como base los oficios, y llegaron a convertirse en un verdadero movimiento (Ashton 1996:154,159).

En materia de producción, el combustible fue un elemento clave. El carbón vegetal (de leña) se había utilizado tradicionalmente como combustible, por lo que las fundiciones solían encontrarse próximas a las fuentes primarias de obtención de este producto (i.e. los bosques). Pero la merma de la madera, sobre todo en Gran Bretaña,²⁴ condujo a la introducción de un nuevo tipo de carbón: el coque, un producto que se obtenía a partir de la hulla (carbón de piedra o mineral). Este pasó a convertirse en el combustible por excelencia de la época.²⁵ Fue esencial, ya que constituyó la base para el desarrollo de los métodos de producción y el transporte —cumplió un rol crucial en la implementación de la máquina de vapor en los ferrocarriles hacia principios del siglo XIX— así como para calefaccionar los ambientes y cocinar, aún más en un país donde la madera había mermado tiempo atrás (Marks 2007:162-164). Abraham Darby fue el primero en obtener lingotes de hierro de buena calidad mediante el uso de este combustible, en el año 1709,

²⁴ Las zonas de Weald, en Sussex y Kent, constituyeron importantes centros de producción metalúrgicos. Pero la creciente demanda de madera para el combustible y la construcción naval, generó una merma de los bosques. De resultas, hacia 1700 se produjo un desplazamiento de las industrias del hierro hacia otras zonas de Inglaterra adonde pudieron explotarse nuevos montes y reforestarse otros (Ashton 1996:50,51).

²⁵ Las principales áreas de explotación del coque y centros industriales de Gran Bretaña del período 1715-1815, pueden consultarse en Gilbert (2003:75).

aunque su uso se extendió lentamente a lo largo de esta centuria. Además, como el coque no era considerado propicio para el trabajo en las fraguas, su empleo se restringió inicialmente a la fundición de hierro. Por tal motivo, una parte importante de la industria de obtención del hierro continuó ligada a los agotados bosques (Ashton 1996:51-54; Ducassé 1973:95; Jacomy 1992:203,204).²⁶

La calidad del hierro forjado producido en Gran Bretaña no era buena, debido al alto contenido de impurezas presentes en el mineral (sobre todo el de los yacimientos del norte de Inglaterra) y en el combustible al que hicimos referencia. Por tal razón, la mayor parte de los elementos necesarios para los barcos de guerra se producían a partir de barras importadas. El principal proveedor de hierro forjado era Suecia, aunque en menor medida también se utilizó el procedente de España, América y Rusia. Dentro del contexto naval, el hierro obtenido localmente era adecuado sólo para utilizar en forma de lingotes para lastre (Rodger 2006:302).²⁷ No sucedía cosa semejante en el caso del hierro colado. Volveremos sobre la cuestión de la calidad del hierro forjado en el capítulo 7.

Con relación a lo anterior, el método de pudelado y laminado de Henry Cort (Fig. 2.5), que patentó en 1783 y 1784, permitió utilizar el coque en las diferentes instancias del proceso de producción y obtener por primera vez un producto barato y de muy buena calidad. El procedimiento consistía en calentar barras de fundición de hierro, utilizando coque como combustible, hasta convertirlas en una pasta (durante esta operación se perdía parte del alto contenido de carbono del material). Luego, esta se mezclaba con escorias de óxido de hierro y era batida con varillas hasta quemar la mayor parte del carbono —que se combinaba con el oxígeno— y de las impurezas. Por último, el producto obtenido se pasaba entre

²⁶ Los productores de artefactos, en cambio, se volcaron desde temprano al uso de este combustible mineral y, por ello, tendieron a congregarse en torno a las zonas carboníferas al sur de Staffordshire y noroeste de Worcestershire (Ashton 1996:53,54).

²⁷ Durante el siglo XVIII, el hierro producido en Suecia y Rusia dominó el mercado europeo, en especial el británico. Para mayor información sobre la importancia del comercio del Báltico con relación a la industria del hierro en Inglaterra, consultar los estudios de Evans y colaboradores (e.g. Evans et al 2002; Evans y Rydén 2006, entre otros). Y sobre las exportaciones de los Urales, véase Blanchard (2001). Durante aquella centuria, Gran Bretaña también dependió de las relaciones comerciales con la región del Báltico para la obtención de otros importantes productos, tales como la brea y el alquitrán empleados para proteger el maderamen de los barcos. Este comercio tenía una importancia política y económica fundamental para esta potencia naval (Ashton 1996:60,95). En Kent (1973) puede encontrarse un análisis histórico pormenorizado de las relaciones comerciales anglo-escandinavas a mediados del siglo XVIII.

dos rodillos, operación por medio de la que se eliminaban las escorias (véase Tylecote 1976).²⁸



FIGURA 2.5 – RETRATO DE HENRY CORT.

Esta litografía muestra el retrato de Henry Cort (mayor) fue publicado en el Times, el 29 de julio de 1856. En el epígrafe de la imagen se lee: *The Tubal Cain of our Century and of our Country, to the Iron Trade of Great Britain*. Dimensiones de la lamina: 35,1 x 52 cm.

Fuente: The Miriam and Ira D. Wallach Division of Art, Prints and Photographs: Print Collection, The New York Public Library, EE.UU. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

²⁸ Los rodillos laminadores de Cort tuvieron varios antecedentes. Podemos mencionar los diseñados por el maestro del hierro británico John Purnell en 1766 (Tylecote 1976:111) y el ingeniero sueco Christopher Polhem en 1745 (Babini 1971:134). Este último se atribuyó la invención de los rodillos para fabricar perfiles de hierro (*'profile' iron*), aunque es improbable que este tipo de rodillos haya sido empleado en el proceso de forjado antes de la adaptación hecha por Cort (Birch 1955:25).

Cort logró liberar de los bosques a los dueños de las fraguas, del mismo modo que Darby lo había hecho tiempo atrás con los dueños de los altos hornos. Así, todas las operaciones de la producción —desde la reducción del mineral hasta la obtención de varillas para la fabricación de herramientas y utensilios— pudieron realizarse en proximidad una de otra y ser controladas por un solo grupo de personas. Ello permitió que las industrias ferreteras expandieran sus productos, que pasaron a ocupar un lugar central en todas las ocupaciones. En Gran Bretaña, la industria se concentró en cuatro regiones principales: Staffordshire, Yorkshire del sur, Clyde y Gales del sur (Ashton 1996:80,81; Mijailov 1964:54; Jacomy 1992:255,256). La maquinaria industrial, cuyas partes principales estaban realizadas en madera, comenzó a construirse con hierro. Así se consiguieron máquinas de movimientos más regulares y con una mayor resistencia al desgaste (Ducassé 1973:96; Mijailov 1964:57).

La industria metalúrgica en Francia tuvo un desarrollo más modesto y tardío, en parte retrasado por la renuencia de los productores a emplear el coque como combustible y a usar el hierro procedente de Suecia, en parte favorecido por los conocimientos y expertos de origen británico (ingleses y escoceses). Con relación a esto último, no podemos dejar de mencionar que Gabriel Jars visitó Gran Bretaña en 1765 como espía industrial, enviado por su gobierno para investigar la metalurgia del hierro. Allí, reconoció la importancia del coque para esta industria, y a su regreso experimentó con este. Sin embargo, las pruebas no fueron exitosas y, para peor, quedaron interrumpidas tras su muerte, en 1769.²⁹ Tiempo después, en 1781, el reconocido ‘maestro del hierro’ (*iron-master*) John Wilkinson colaboró con François Ignace de Wendel en la creación de la fábrica de Creusot, Borgoña. El propio Wendel, que era un herrero experimentado, reconoció ser incapaz de construir un horno de fundición de hierro alimentado con coque. Se decía de este último especialista que, siendo el único capaz en Francia de llevar a cabo semejante tarea, tuvo que recurrir a la experiencia del técnico británico (Bradley 2010:88). La fábrica de Creusot tendría una importancia capital para el abastecimiento de cañones y municiones para la Marina de Guerra francesa. En el

²⁹ Entre 1757 y 1769, Jars se dedicó a estudiar la metalurgia del hierro y realizó numerosos viajes a otras regiones de Europa, cuyos resultados aparecieron en la obra póstuma *Voyages Métallurgiques*, publicada en tres volúmenes entre 1774 y 1781 (Gillispie 1957:400).

panorama general, hacia 1815 esta era la única fábrica que tenía un horno alimentado con coque (Gillispie 1957:400).

El País Vasco, en España, fue durante siglos un centro de producción de hierro de primera calidad. Antes del apogeo de Suecia en el mercado europeo, el principal centro siderúrgico estaba conformado por las ferrerías de las tierras vizcaínas. En esta región se explotó una vena de hematites rojas, con una ley de ca. 58 % (en grandes partidas).³⁰ Este rico mineral procedía fundamentalmente de las minas de Somorrostro, en Bilbao. La mayor parte se labrara en las ferrerías locales, aunque también se enviaba a las instalaciones de Guipúzcoa y a otros puntos en la costa cantábrica. El producto elaborado se exportaba fuera del reino a través de los puertos localizados en el litoral atlántico. En época del rey Carlos VII, se decía que el hierro de esta procedencia era el más adecuado para construir navíos, pues se doblaba sin romperse fácilmente. Durante la primera mitad del siglo XVIII, la fracción de hierro que importaba Gran Bretaña de España provenía del País Vasco.³¹ Otra parte de la producción tuvo como destino las fraguas de Francia, que emplearon el hierro de aquellas tierras en proporción mayor al procedente de Suecia. A partir de 1765 comenzaría un período de decadencia de la producción tradicional, por medio de la reducción directa en hornos bajos y abiertos, que se prolongó hasta principios de la siguiente centuria, cuando el sector siderúrgico adoptó el alto horno (Santana et al. 1999; Urteaga 1999).

La metalurgia del cobre en Gran Bretaña se desarrolló intensamente en Amlwch, norte de Anglesey, Gales, adonde se ubicaban las ricas vetas de mineral de la montaña Parys.³² Este yacimiento fue el más importante de la región, rica en minerales de cobre. Los primeros responsables de los trabajos a mediados del siglo XVIII fueron Sir Nicholas Bayley y el reverendo Edward Hughes. Al cabo de unos

³⁰ Los minerales de este yacimiento eran considerados los de mejor calidad, pero no eran los únicos que se aprovechaban en la región. En las numerosas minas de Cantabria predominaban los sulfuros y óxidos e hidróxidos de hierro: marcasita, melnikovita, oligisto, ocre, limonitas y, especialmente, goethita. La práctica habitual consistía en mezclar los minerales de varias procedencias, en proporciones establecidas según el producto deseado (García Codrón 1999:89).

³¹ Para mayor información sobre las exportaciones del País Vasco a Inglaterra y a otras regiones de Europa durante el siglo XVIII, véase Uriarte Ayo (2003).

³² El nombre parece haber derivado de Robert Parys, Chambelán de Gales del Norte durante el reinado de Enrique IV. Estas minas fueron conocidas por los romanos, y si bien existen varias referencias acerca de su importancia desde finales del siglo XVI, el primer intento serio de explotación data de fines de la década de 1750 (North 1962:37).

años, este último se asoció con Thomas Williams (1737-1802), que se convertiría en líder de la industria del cobre en Gran Bretaña. En Anglesey, estuvo a cargo de la Compañía Minera Parys (Parys Mine Co.) y de la Compañía Minera Mona, aunque desarrolló una red de compañías integradas que cubrían todo el proceso de producción, desde la extracción del mineral hasta la venta del cobre. Hacia mediados de la década de 1780, el yacimiento galés se convirtió en el más importante de Europa, con una producción anual de ca. 3.000 toneladas de cobre metálico (North 1962:38; Symons 2003:64-68). Aquella compañía produjo, entre otros objetos de cobre, pernos y chapas para el revestimiento de forro de los barcos de guerra británicos, que también se exportaron a las principales potencias europeas (Harris 1966:563).

En Cornwall, al sudoeste de Inglaterra, también floreció una importante industria del cobre (y del estaño) desde principios del 1700, y cuya producción creció notablemente entre el segundo y tercer cuarto de siglo (Symons 2003:33,34). El producto de estas minas fue destinado en parte importante a los fundidores de Bristol y Swansea, que lo adquirían a un módico bajo. No obstante, la competencia creada por el cobre procedente de Anglesey —debido a los menores costes que suponía la explotación a cielo abierto— amenazó la situación de la Compañía Metalúrgica de Cornwall, que redujo sus ventas y experimentó una importante acumulación de la producción. La demanda generada por la guerra finisecular, en particular para el revestimiento de los barcos de guerra, permitió absorber la creciente producción y mantener a flote la industria (Ashton 1996:153).³³ Con la marcada caída de la producción de cobre de Anglesey, durante el siguiente medio siglo las minas de Cornwall se expandieron hasta convertirse en las principales proveedoras de este metal (Symons 2003:52).

Los yacimientos de cobre localizados en las Islas Británicas eran de excelente calidad (véase Croaddock y Hook 2012, para mayor información sobre las características de los productos allí obtenidos).³⁴ Esta situación no pasaba inadvertida para los extranjeros, tal como lo muestra la sección 'Noticias de la Gran

³³ A finales del siglo XVIII, un tercio de la producción de cobre de Gran Bretaña estaba destinada al aforro de los barcos (Samuels 1983:70,71).

³⁴ Quien desee profundizar en la historia de la minería en Gran Bretaña, recomendamos consultar la información disponible en la biblioteca perteneciente a The AditNow Mining History Society, disponible en www.aditnow.co.uk.

Bretaña' del periódico *Mercurio de España*, edición de octubre de 1790, adonde se lee: “en la Isla de Schetland [Shetland], al norte de Escocia, se ha descubierto una mina de cobre y hierro de excelente calidad; y la Compañía de Anglesey ha enviado un considerable número de mineros para beneficiarla” (AA.VV. 1790:505).

En Francia, los principales talleres se encontraban en Romilly, a unas cuatro millas de Ruan (Normandía). Allí, a orillas del río Andelle y cerca de la desembocadura, se montaron máquinas especiales para la fabricación de planchas de cobre a partir de 1780 (Boudriot y Berti 1995:261). Para su construcción, como en el caso de la fundición de Creusot, se siguió el patrón británico. No sólo se importó maquinaria de Gran Bretaña,³⁵ sino que numerosos operarios eran de aquella nacionalidad. La dirección de las obras estuvo a cargo de Michel Louis Le Camus de Limare, un industrial que visitaba frecuentemente los talleres de laminación británicos. Estas instalaciones se convirtieron en la principal fuente de abastecimiento de la Marina de Guerra francesa hasta principios del siglo XIX (Ferreiro 2007:21; Bradley 2010:89,95).

El uso de maquinaria en la industria metalúrgica estuvo asociado fundamentalmente a la minería, que dependió de esta a lo largo del siglo XVIII, en especial cuando fue subterránea. Uno de los principales problemas asociados a la explotación del mineral era el agua, que debía desalojarse de las galerías. Para ello, se emplearon bombas de agua accionadas por medio de la máquina de vapor atmosférica, desarrollada por Thomas Newcomen en 1712. Esta máquina era poco eficiente, dado que requería de una gran cantidad de combustible para operar; por ello su aplicación fue relativamente limitada. El diseño fue mejorado notablemente por James Watt, que en 1769 patentó su máquina de vapor de simple efecto, con el condensador separado del cilindro (véase Usher 1988:347-357; para una presentación detallada sobre estos aparatos y sus principales usos). Aunque la mayoría de las máquinas de vapor construidas a lo largo de dicha centuria —unas 2.500 unidades, según Marks (2007:163)— se destinaron a los yacimientos de carbón, también se utilizaron en las minas de hierro y cobre. Por caso, la aplicación del ingenio de Watt en los emprendimientos mineros de Cornwall permitió

³⁵ En 1785, Pitt emitió un acta (*Tools Act*) que bloqueó la importación de este tipo de productos (Rodger 2006:378).

explotar las menas ubicadas a mayor profundidad y que el mineral extraído de la zona fuera competitivo frente al de Anglesey (Symons 2003:47).

En ciertas ferrerías y fundiciones también se emplearon máquinas para la producción de ciertos objetos (e.g. cañones y anclas). Volveremos sobre algunas cuestiones específicas relativas a estos establecimientos y a la producción de artefactos de hierro y cobre en capítulos ulteriores.

EL PODERÍO DE LAS ARMADAS

Los barcos de guerra

Características generales

Un barco es, conceptualmente, un vehículo capaz de flotar y desplazarse en el agua. Aquellos de los que nos ocuparemos en esta investigación son de un tipo particular, en cuanto a sus características y pretendida funcionalidad: buques de guerra, construidos en madera y propulsados a vela. Estos, junto con los mercantes, consistieron en los principales medios de transporte utilizados durante el proceso de expansión territorial y comercial de los estados europeos en época moderna y se emplearon en un sinnúmero de actividades que fueron de vital importancia para su consecución.

Los barcos de guerra eran diseñados y construidos bajo estrictas especificaciones, acordes con el tipo de actividad al que estaban destinados (e.g. ofensiva contra flotas; escolta de barcos mercantes; transporte de pertrechos y unidades del ejército; exploración de nuevos territorios; etc.).³⁶ Estos vehículos, que llegaban a ser verdaderas fortalezas flotantes, eran máquinas complejas con propiedades marinerías y de combate (Fig. 2.6). Los diversos componentes que hacían a su funcionamiento respondían en alto grado a una lógica utilitaria, diferente a la que operaba en otros objetos (e.g. el mascarón de proa, figura

³⁶ Por supuesto, esta situación no era exclusiva de los buques de guerra. Al respecto, Watts y Krivor señalaron la efectividad de los carboneros (*colliers*) ingleses utilizados durante el siglo XVIII. Estos transportes, que por aquel entonces se convirtieron en uno de los barcos más importantes del comercio marítimo británico, estaban diseñados especialmente para la tarea que debían cumplir (Watts y Krivor 1995:107).

ornamentada que se exhibía en la parte alta del tajamar, que en la época que nos atañe cumplía un rol eminentemente simbólico). Eran, en suma, alta expresión del ingenio racionalizador de la época.³⁷



FIGURA 2.6 – HMS³⁸ VICTORY (1765 – EN SERVICIO).

Vista (desde proa) del navío de guerra británico, apostado en el astillero histórico de Portsmouth (Inglaterra). En la imagen se aprecian las baterías de cañones y las anclas de leva primera (*best bower anchor*) y esperanza (*sheet anchor*) en la banda de estribor.

Foto: N. Ciarlo 2013. Portsmouth Historic Dockyard, HM Naval Base, Portsmouth, Reino Unido.

³⁷ Hasta la invención de los aviones, a principios del siglo xx, los barcos constituyeron la más alta expresión técnica de la sociedad occidental (Adams 2001:302).

³⁸ Los barcos de guerra de la Real Armada Británica (*Royal Navy*) llevaban el prefijo *HMS* (*His/Her Majesty's Ship*), que significa "Buque de su Majestad". Aquellos pertenecientes a la Real Armada Española y la Marina Francesa (*Marine Nationale* o *La Royale*), en cambio, no tenían este prefijo distintivo.

En tanto máquinas de combate, estos buques se emplearon —y pusieron a prueba su potencial— fundamentalmente durante tiempos de conflicto.³⁹ Entendemos que poseían dos componentes principales: el material y, en estrecha relación a este, el humano. En palabras de Reynolds:

“Todo buque es una máquina flotante diseñada y construida con cuidado que opera a merced de los vientos y los mares. Su misma supervivencia y efectividad dependen en gran medida de las habilidades y la experiencia de sus oficiales y tripulantes en el manejo del buque. Cuando la nave es además una plataforma de armas —un buque de guerra— requiere inclusive de su personal una mayor sofisticación técnica” (Reynolds 2000:15).

Puede decirse que el éxito de una contienda dependía en parte de las capacidades marineras del barco, las prestaciones de su equipamiento y las cualidades técnicas del armamento. Aspectos como la velocidad de un buque y su poder de fuego eran importantes, sin duda, pero no decisivos. Cumplían además un papel relevante el planteo táctico⁴⁰ y el adecuado manejo del buque, los cañones y otras armas durante el combate. Estos aspectos, en particular, estaban condicionados por las órdenes de los superiores, así como por la organización, el entrenamiento, las habilidades y decisiones personales de los oficiales y el resto de la tripulación.

La operación regular y en batalla de un buque de guerra estaba a cargo de una tripulación heterogénea. El grueso de los marineros (*common seamen*, en inglés) estaba constituido por personas con modos de vida muy variados (muchas sin

³⁹ La actividad al interior de cada armada decaía notablemente durante los tiempos de paz, situación que, vale aclarar, era poco favorable para la carrera de los oficiales y las condiciones laborales de una porción importante de los marineros. En tales escenarios, aunque las acciones bélicas ya no eran la prioridad inmediata, los buques no dejaban de operar por completo. Algunas unidades permanecían en puerto, mientras que otros barcos se aprovechaban para diversas tareas en aguas lejanas. A modo de ejemplo, las unidades de la Armada Española se dedicaron a mantener la comunicación entre la Península y las colonias de ultramar, a convoyar las flotas mercantes (a modo de protección), conducir caudales y trazar nuevas rutas de navegación (Fernández Duro [1895] 1972-1973:390-391).

⁴⁰ Las acciones de los barcos dependían, a un nivel más elevado, de la estrategia naval de cada estado. En cuanto al combate, asegurar y mantener las posiciones de ventaja (e.g. estar a barlovento y atravesar la popa del contrario) eran tarea primordial del comandante de un barco de guerra, a fin de ocasionar el mayor daño posible al barco enemigo (véase Brownlee 2001:32-34).

conocimientos sobre náutica) y de diferente nacionalidad, que habían sido incorporadas a la armada por medio de diversos sistemas, tales como alistamiento voluntario, leva y enganche.⁴¹ Dentro de este contexto, la formación de una tripulación disciplinada —que estuviera bajo el mando de oficiales con amplia experiencia en el ramo— era una tarea imperiosa con miras al buen desempeño de los barcos. La importancia que ello tenía para el bienestar del propio Estado está atestiguada por los varios enfrentamientos en que se logró inclinar la balanza a favor de aquellos que se encontraban en condiciones materiales desventajosas (e.g. inferioridad numérica), gracias a la habilidad y determinación de los comandantes y sus subordinados. Vale recordar las palabras de McGhee:

“Los barcos suelen ser maravillas tecnológicas, pero su cosificación (*reification*) por parte de los arqueólogos náuticos ha oscurecido lo obvio: éstos son primeramente entidades culturales y políticas, y deben ser pensados e investigados como tales” (McGhee 1998:6; la traducción es personal).

Habiendo dicho esto, aquí nos concentraremos en el aspecto material de los barcos, pero sin perder de vista el factor humano a bordo, así como dentro de la esfera política, que cumplió tan relevante papel durante todo este tiempo. En tanto expresiones tecnológicas particulares, han estado inmersos en la dinámica de cambio que antes presentamos en términos generales. Al respecto, cobra singular relevancia la consideración de aspectos tales como el conflicto, la industrialización,

⁴¹ Las modalidades de reclutamiento forzoso —a las que solía recurrir, más que otros, Gran Bretaña— se intensificaron a partir de la segunda mitad del siglo xviii, debido a la demanda de personal que supuso el período casi ininterrumpido de guerras, junto a la necesidad de contar con tripulaciones que pudieran operar el número creciente de cañones con los que estaban artillados los navíos de línea. Para muchos trabajadores, la vida a bordo era muy diferente de la que conocían en tierra. Era un entorno alienígena, una organización marcada por la autoridad de sus superiores y los tiempos de trabajo. Debían convivir en un espacio reducido y bien delimitado, y llevar a cabo labores muy poco placenteras bajo un régimen coercitivo de obediencia (por medio de vigilancia y castigo). El rigor al que estaban sometidos diariamente y las inclemencias propias del combate naval motivaron a una cantidad de hombres, que no tenían razones genuinas para ser leales al pabellón bajo el cual navegaban, a desertar (masivamente), amotinarse y traicionar a sus oficiales. Estas situaciones fueron acrecentándose con el correr del tiempo, y alcanzaron un punto álgido a partir de las guerras napoleónicas, en las postrimerías del siglo xviii. Lo anterior tuvo penosas consecuencias para las armadas europeas en conflicto, desde la preocupante y constante reducción del número de efectivos para cubrir las tripulaciones de los buques hasta la pérdida más que ocasional de estos últimos, que muchas veces cayeron en manos del enemigo, por mencionar algunos de los costes humanos y materiales más significativos (Frykman 2009).

las aplicaciones científicas y la transferencia de conocimientos, materiales y personas, con miras a comprender los cambios que ocurrieron a lo largo del tiempo. La articulación de estas cuestiones resultó en transformaciones que afectaron a los materiales, los métodos y equipo de producción, y el diseño y la construcción de los barcos.

A la mar madera... y algunos componentes metálicos

Tal como anunciamos en la introducción, esta tesis está enfocada en los buques de guerra de madera y, en particular, en los componentes metálicos vinculados con la operatividad de los barcos en lo que a capacidad de navegación y combate se refiere. Es necesario introducir en este punto sus características principales, el lugar que ocupaban dentro de un barco y las relaciones que mantenían entre sí.

Un buque de guerra, como vimos, es una máquina compleja formada por una amplia cantidad de componentes. Los elementos que formaban parte del casco de las naves (e.g. el forro metálico), el equipamiento náutico (e.g. las anclas y las bombas de achique), el armamento, la jarcia y los accesorios, a los que haremos referencia en este trabajo, estaban estrechamente relacionados. Históricamente constituyeron componentes de suma relevancia en el ámbito naval, ya que, en su conjunto, condicionaban el funcionamiento de un barco, i.e. su flotabilidad, maniobrabilidad, velocidad, estabilidad, solidez, capacidad de carga y poder de fuego. Estaban asociados, en definitiva, a una serie de cuestiones de las que dependía fuertemente el éxito de las empresas vinculadas a la navegación, e.g. los combates navales (Nieto Prieto 1984:129).

Probablemente, muchos de estos elementos debieron estar a la vanguardia (e.g. en términos de calidad respecto del diseño y las aleaciones utilizadas) y, al menos en parte, estuvieron sujetos a varios cambios en el transcurso de este período. Por ello, el análisis de estos será de especial interés al momento de abordar las diversas problemáticas relacionadas con las innovaciones en metalurgia y su aplicación a los buques de guerra de la época.

El principal material empleado para la fabricación de este tipo de barcos hasta principios del siglo XIX fue la madera. Pero además de árboles, se requería de otras materias primas, entre ellas metales tales como el hierro y el cobre. Con estos se obtenían los elementos que formaban parte de la estructura del casco, el equipamiento náutico, la artillería, así como la amplia diversidad de artefactos llevados a bordo por la tripulación (véase Pomey 2011). Los elementos de fijación (pernos y clavos) mantenían en su lugar las diferentes partes estructurales del casco; el revestimiento del forro (chapas metálicas y tachuelas) prevenía el deterioro ocasionado por organismos perforantes de madera y, adicionalmente, mantenía limpia la superficie del fondo; las anclas eran el principal elemento de seguridad llevado a bordo y único recurso para fondear o zafar de una varadura; las bombas de sentina permitían evacuar el agua que se acumulaba en la sentina debido a las filtraciones (había otras bombas que servían para apagar incendios); el timón permitía gobernar el barco, que de lo contrario quedaba a la deriva; por último, la artillería constituía el principal medio empleado para dirimir los combates entre adversarios. En definitiva, estos diferentes componentes eran esenciales para el funcionamiento de los barcos de guerra.

Las características de cada uno de los elementos mencionados obedecían a múltiples variables, que se articulaban de diversas maneras. Entre los principales factores, desde un punto de vista esencialmente técnico, cabe mencionar los siguientes: la funcionalidad de las piezas; los conocimientos, técnicas y materiales disponibles; la escala de producción; la naturaleza de las empresas (comercial, científica, militar, etc.); y la tradición naval. Las exigencias a las que estaban sometidos los diversos objetos metálicos durante su uso debieron influir en la elección de las aleaciones utilizadas (de acuerdo con sus propiedades mecánicas y químicas) y la forma de manufactura. Estos aspectos dependían a su vez de factores menos inmediatos, tales como los recursos disponibles, los conocimientos acerca de la relación entre las propiedades de un objeto y su composición, las prácticas tradicionales y las preferencias del fabricante, entre otros.

Como veremos más adelante, la evidencia material de los naufragios, junto con otras fuentes de información, puede aportar información significativa sobre los aspectos antes mencionados. En particular, serán de especial interés los resultados obtenidos a partir de la aplicación de ciertos métodos e instrumental de análisis.

Además, mediante un estudio comparativo será posible evaluar aquellas cuestiones vinculadas con la producción y el uso de estos objetos, así como con los aspectos que influyeron sobre el cambio a lo largo del tiempo.

Clasificación de los barcos de guerra

Las armadas disponían de un amplio repertorio de barcos, que empleaban en diferentes acciones, de forma independiente o conjunta, según sus características. Los buques de guerra se clasificaban de acuerdo al número de cañones con que estaban artillados (y no por su desplazamiento), lo que evidencia la relevancia que en aquel entonces tenía su poder de fuego. En el caso de la Real Armada británica, los de mayores dimensiones estaban jerarquizados de acuerdo con un sistema de seis órdenes o rangos (*rate*, en inglés), basado en la cantidad de cañones con los que estaban artillados. Los restantes, más pequeños, se agrupaban en función de su tipo y función. En la figura 2.7 pueden apreciarse las diferencias de tamaño que existían entre un navío de línea de 1er. rango y una corbeta de guerra británicas de la época.

Este sistema de clasificación se estableció hacia la segunda mitad del siglo xvii, cuando la estandarización de los diseños navales comenzó a tener efecto (Cates y Chamberlain 1998:127). A nivel comparativo, y a igual número de cañones, en un principio los barcos británicos fueron más pequeños que los de otras potencias (Rodger 2006:221). Los únicos barcos que tenían el poder de fuego suficiente para formar parte de una flota de batalla eran aquellos que pertenecían a los primeros tres órdenes. Estos eran los navíos de línea, así denominados por la modalidad de formación en línea que adoptaban para el combate en aquel entonces. El panorama a lo largo de la segunda mitad del siglo xviii fue el siguiente (los valores son estimativos, dado que variaron con los años): los de 1er. rango estaban artillados con 100-110 cañones, los de 2do. rango montaban 90-98 y los de 3er. rango, considerados los más versátiles, 74 cañones (también formaban parte de este orden los buques de 64 y 80 bocas de fuego). Su importancia dentro de la armada está atestiguada por el número de unidades en servicio, que durante décadas fue superior —la brecha se acrecentó notablemente a partir de fines del

siglo XVIII— al de los otros buques de mayor porte. Los de 4to. rango estaban artillados con 50 cañones (véase Hohimer 1983). A partir de mediados del siglo XVIII, estas fragatas dejaron de emplearse para el combate en línea, y pasaron a cumplir un rol destacado en las estaciones de ultramar.⁴²

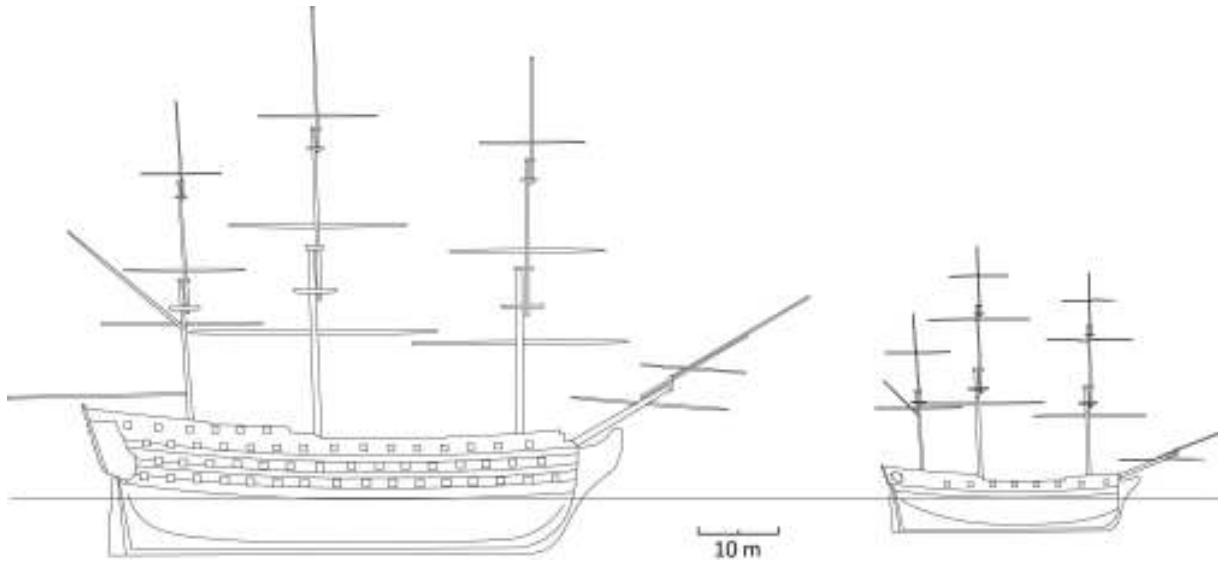


FIGURA 2.7 – COMPARATIVA ENTRE UN NAVÍO DE LÍNEA Y UNA CORBETA DE GUERRA.

Representación a escala de dos barcos del siglo XVIII pertenecientes a la Real Armada británica: (izq.) navío de línea de primer orden (*HMS Victory*); (der.) corbeta de guerra (*HMS Swift*).

Gráfico: C. Murray 2015.

Las fragatas, que eran más veloces y más fáciles de maniobrar que los buques de línea, podían actuar en solitario, ya que eran lo suficientemente grandes para estar bien artilladas, aunque no se esperaba que formaran parte de un combate de línea, i.e. durante el enfrentamiento entre dos flotas. Por lo general llevaban artillada la cubierta superior, lo que les permitía navegar bajo condiciones adversas y operar los cañones sin correr el riesgo de que la cubierta inferior (desarmada) se

⁴² La fragata de 4to. rango y 50 cañones *HMS Maidstone* (1747), por ejemplo, aún estaba clasificada como un navío de línea. Estos barcos de dos cubiertas, en la práctica, fueron especialmente útiles en tiempos de paz. Aproximadamente, seis de cada siete barcos insignia en territorios de ultramar antes de las Guerras Revolucionarias Francesas eran barcos de este porte (Maisonneuve 1992:16).

inundara a través de las portas. Eran los mejores barcos de guerra multipropósito (Breen y Forsythe 2007:40). Estos cruceros se empleaban en múltiples operaciones, tales como: escoltar convoyes de barcos mercantes, ante la amenaza de buques corsarios o de guerra; realizar tareas de reconocimiento; ejecutar asaltos a estaciones enemigas; asimismo, dadas sus características, podían actuar en solitario (Brownlee 2001:38).

Por debajo de los barcos de 6to. rango se ubicaban otras unidades menores, no clasificadas (sin orden), a saber: corbetas, bergantines, bricbarcas, cañoneras, transportes y otras embarcaciones menores. Estos barcos más pequeños, más ligeros, veloces y maniobrables, estaban destinados a cumplir diversas funciones, según las circunstancias.

Situación de las flotas

Organización y política institucional

Para comprender la situación en la que se encontraban las flotas de las potencias europeas de la época, antes es necesario dar cuenta de la política adoptaron los estados con respecto a los principales recursos de sus respectivas armadas (e.g. infraestructura, barcos, personal). Estos temas han sido tratados con mayor lucidez y extensión por otros, de modo que aquí sólo nos limitaremos a brindar un panorama general. Comentaremos a continuación el caso de Gran Bretaña, que gozó de una posición más próspera que la de sus adversarios.

Durante la primera mitad del siglo XVIII, Gran Bretaña desarrolló una armada profesional, con barcos de línea estandarizados que operaban dentro de un sistema de puertos y arsenales. Este país fue seguido de cerca por las potencias borbónicas de Francia y España, que renovarían sus averiadas armadas en el transcurso del siglo (Dickie et al. 2012:125). Disponer de personal especializado y de recursos financieros abundantes, fueron dos factores de singular importancia para la consecución de los objetivos políticos enfocados en el fortalecimiento del poder naval. El éxito o fracaso de las empresas de construcción naval dependió estrechamente de ambos aspectos, aunque ninguno de estos bastó por sí solo para

hacer frente a los desafíos imperantes. Cuando los expertos necesarios para dirigir las construcciones fueron materia escasa, los inconvenientes técnicos que ello implicó (barcos de mala calidad) no pudieron ser compensados de forma simple. De allí la preocupación, siempre vigente, por contar con especialistas en la construcción de barcos y otros ramos vinculados a la industria naval.

Las autoridades de mayor jerarquía, de las que dependían estrechamente los asuntos de cada armada, fueron: en Gran Bretaña, el Primer Lord del Almirantazgo (*First Lord o First Commissioner of the Admiralty*); en Francia, el Ministro o Secretario de Estado a cargo del Departamento de la Marina de Guerra y las Colonias (*Département de la Marine et des Colonies*); en España, el responsable de la Secretaría del Despacho de Marina e Indias.⁴³ Estas autoridades eran la cabeza de complejas instituciones, con estructuras jerárquicas y organizaciones centralizadas.⁴⁴ Las decisiones en torno a los fines y cometidos de cada armada recaían sobre una persona —especialmente en los casos francés y español, donde la figura del Secretario (Ministro) había sustituido a los anteriores consejos— o un grupo reducido de hombres. No obstante, la gestión y control de los intereses materiales relacionados al poder naval estaba a cargo de personas que, si bien respondían a aquellos, tenían amplia capacidad de acción (e.g. el Intendente General de Marina, en el caso de España).

Respecto de las capacidades con que contaban estas autoridades, en Gran Bretaña la posición de Primer Lord del Almirantazgo fue ocupada en varias

⁴³ El Almirante General y la Junta del Almirantazgo también tuvieron cierto peso —durante el breve período de existencia de esta institución, entre 1737-1748 y 1807-1808—, aunque sus funciones poco definidas entorpecieron la autonomía e incumbencias de la Secretaría en los asuntos de la Marina (ver Serrano Álvarez 2013).

⁴⁴ El Primer Lord era la cabeza del Consejo de Almirantazgo (*Admiralty*), formado por los Lores Comisionados del Almirantazgo, también llamados Señorías del Almirantazgo (*Lords Commissioners for executing the office of Lord High Admiral of Great Britain*). Sobre este pequeño grupo de hombres, que respondía al gobierno central, recaía la responsabilidad de planificar todas las acciones de la armada. El Consejo de Almirantazgo, cuyo comando central estaba en Londres, tenía dos importantes subcomités, que se ocupaban de tareas específicas: el Consejo Naval (*Navy Board*) y el Consejo de Artillería (*Board of Ordnance*). El primero se ocupaba de la construcción y reparación de los barcos, y de que estuvieran bien equipados de tripulantes, provisiones y materiales. Controlaba los astilleros del gobierno, pero además mantenía estrechos vínculos con numerosas empresas civiles para la realización de diversos trabajos. El segundo se encargaba de suministrar las armas a los buques de guerra, controlaba algunas de las fábricas encargadas de las armas y municiones, contrataba el trabajo de otras (civiles) y realizaba experimentaciones con nuevos ingenios y pruebas de eficacia con las piezas de artillería disponibles. Centralizaban, además, toda la información sobre el material en uso dentro de la Armada (Brownlee 2001:4-5).

oportunidades, al menos hasta principios del siglo XIX, por un oficial naval. Entre los máximos responsables de la Marina Nacional francesa, pueden contarse algunos oficiales de alto rango (Almirante o Vicealmirante). En España, muchas de las personas que se desempeñaron como Secretarios de Marina también tenían amplia experiencia en temas vinculados con el ámbito naval y militar. Los puestos, de índole política, les fueron encomendados en su mayoría a personas instruidas, algunas con amplia trayectoria de servicio en la armada, conocedoras del funcionamiento, pormenores, intereses y necesidades de las respectivas instituciones (véase el anexo 3).

La superioridad naval británica estuvo fundamentada en una política que hizo hincapié en la logística, las instalaciones y la organización de la institución, entre otros aspectos (Dickie et al. 2012:129). Pese a los vaivenes, el Parlamento se dedicó a mantener firme su flota de barcos, tanto en tiempos de guerra como de paz. Luego de 1715 se produjeron varias reformas administrativas y un plan de construcción casi permanente, mediante un influjo de capital que representaba más de la mitad del presupuesto de defensa del país. Hasta mediados de siglo, la totalidad de barcos de guerra era de apenas más de 100, cifra que aumentó durante las guerras ulteriores (Reynolds 2000:106). Rodger destacó que el Parlamento votó en contra el presupuesto para construcción naval entre 1696 y 1745, por lo que las necesidades de la armada se cubrieron mediante la reconstrucción extensiva de barcos ya existentes (Rodger 2006:220).⁴⁵ La política

⁴⁵ Entretanto, España resolvió superar el estado de calamidad en que se encontraba su fuerza naval a finales del siglo XVII. En tal condición se encontraba que dependió de la asistencia de Francia para cumplir con los asuntos de la mayor importancia, como la protección de las flotas de comercio en el Atlántico. La puesta en marcha de una profunda reestructuración burocrática, administrativa y financiera del aparato institucional —la Armada figuró entre las entidades que recibieron mayor atención económica, debido a su reconocida relevancia para la prosperidad del estado—, llevarían rápidamente a España a una posición que amenazó la hegemonía británica en los mares. El resurgimiento de la Real Armada, tanto en fuerza naval como en organización, se debió en un principio a las políticas implementadas por el monarca Borbón Felipe V durante parte importante de su reinado, entre 1700 y 1746. La creación en 1714 de la Secretaría del Despacho de Marina e Indias, siguiendo el modelo francés, tuvo como consecuencia fundamental la unificación de las diferentes armadas peninsulares, hasta entonces descentralizadas, y la creación oficial de la Marina de Guerra de España (Serrano Álvarez 2003). Una persona clave para la armada fue Zenón de Somodevilla y Bengoechea, marqués de la Ensenada, que en 1743 se hizo cargo de la Secretaría de Marina. Su política cumplió un rol de suma importancia con respecto a los aspectos económicos, infraestructurales y organizativos de la Armada en el transcurso de la segunda mitad del siglo XVIII, e incluso más tarde. Años más tarde, Carlos III (1759-1788) logró conducir a la Real Armada a su

seguida por John Montagu, Conde de Sandwich, fue vital para el fortalecimiento de la flota. Hacia el final de la Guerra de los Siete Años, debió enfrentar una crisis, dado que todos los barcos en servicio estaban a punto de volverse obsoletos. La política seguida por sus predecesores estuvo orientada más en las reparaciones que en la construcción de nuevos barcos, más costosos. Frente a esta situación, a comienzos de la década de 1770 Sandwich se propuso emprender un programa a largo plazo basado en la construcción de barcos con una vida útil más larga (Rodger 2006:370,371).

En líneas generales, hacia la segunda mitad del siglo XVIII estos estados europeos apostaron, unos más y otros menos, a incrementar el número de unidades de combate operativas, así como el poder de fuego de sus buques. Los números de esta carrera naval hablan por sí solos. En términos del desplazamiento total, entre las décadas de 1760 y 1790 (justo antes de las guerras napoleónicas), las armadas de las principales potencias marítimas crecieron rápidamente: Francia expandió su flota en un 107 %; España, un 87 %; más atrás, Gran Bretaña, un 26 % (Glete 1993, citado en Frykman 2009:67). Rodger presentó el panorama desde otra óptica. Con relación al tonelaje, dijo, las flotas de Francia y España juntas superaban a la de Gran Bretaña en un 17 % hacia 1785, mientras que cinco años después su superioridad era del 34 %. En términos numéricos, en 1785 las dos primeras potencias tenían 62 y 61 navíos de línea, respectivamente, contra 137 británicos; al cabo de un lustro, los efectivos de Francia y España se incrementaron a 73 y 72 navíos de línea, ahora frente a 145 de Gran Bretaña (Rodger 2006:361).

Las principales armadas europeas de la época:

“Edificaron astilleros más grandes y burocracias más complejas, contrataron a más trabajadores, produjeron y compraron más madera, hierro, cáñamo y provisiones, fundieron más cañones, balas de cañón y clavos, y construyeron muelles, almacenes, cuarteles y oficinas. El esfuerzo financiero del estado fue inmenso. Construir y armar barcos, sin embargo, era sólo una parte del desafío. Las flotas más grandes y la casi permanente guerra que se desencadenó entre ellos, también requirieron muchos más hombres de los que estaban disponibles” (Frykman 2009:67,68; la traducción es personal).

punto más elevado en el siglo XVIII, luego de finalizada la Guerra de los Siete Años (González-Aller Hierro 1998).

La administración de las finanzas fue un asunto crucial para estas potencias, sobre todo si tenemos en cuenta el saldo deficitario que dejaron las guerras y las deudas asumidas por el estado para afrontar semejantes programas de construcción naval. El impacto de las políticas financieras tuvo serias consecuencias. En Francia, por caso, los problemas económicos suscitados por la guerra y la expansión naval en tiempos de paz sentaron las condiciones para la caída de la monarquía en 1789 (Rodger 2006:362). Diremos a continuación algunas palabras acerca de la infraestructura con que contaron estas armadas para construir y mantener sus barcos.

Arsenales y astilleros

En las primeras líneas de este capítulo, vimos que a lo largo del período de expansión europea a nivel global se produjeron importantes cambios en la tecnología naval. En particular, los avances logrados durante el siglo XVIII dieron lugar a los más gloriosos barcos a vela de la historia moderna. Los buques de guerra construidos por aquel entonces —propulsados únicamente por la acción del viento—⁴⁶ alcanzaron gran porte, solidez y capacidades marineras, y fueron artillados con un creciente número de cañones. Todas estas transformaciones y otras más, que redundaron en el fortalecimiento de las fuerzas navales europeas, ocurrieron en los astilleros y arsenales.

Gran Bretaña tenía varios astilleros, que con el correr del tiempo fueron especializándose en diferentes funciones. En Deptford, ubicado aguas arriba del Támesis, se construyeron barcos pequeños. Además, el astillero sirvió como cuartel general de los transportes navales y centro desde el que se distribuyeron los pertrechos para las diferentes escuadras. Woolwich, que también estaba constreñido por el régimen del río, fue destinado a la construcción y destacó como

⁴⁶ La última gran contienda naval en la que se emplearon únicamente barcos impulsados a remo (galeras) fue la batalla de Lepanto, en 1571. Este tipo de barcos sufrió varias transformaciones a lo largo del tiempo, entre estas la incorporación de la vela como medio de propulsión alternativo. En España, el año de 1748 se disuelve el Cuerpo General de Galeras, sito en el Real Arsenal de Cartagena. Aunque durante la segunda mitad del siglo XVIII se construyeron algunos de estos barcos para luchar contra la piratería berberisca, no tuvieron especial relevancia.

centro productor de cordelería. Por otro lado, Chatham estuvo afectado por la colmatación del río Medway, por lo que las actividades allí se concentraron en la construcción y la realización de recorridos importantes. En la confluencia del Támesis y el Medway se encontraba el de Sheerness, que pese a estar bien ubicado era estrecho, estaba afectado por la malaria y carecía de agua dulce. Allí se llevaron a cabo trabajos de limpieza y reparación de barcos de guerra menores. El mantenimiento de la flota se efectuó principalmente en los astilleros de la costa sur de Inglaterra: Portsmouth y Plymouth. El primero fue el más importante, aunque este último creció por servir como base de la Flota Occidental. Estos astilleros no siempre dieron abasto, sobre todo en tiempos de guerra, por lo que la tarea de construir barcos para la armada también corrió por cuenta de astilleros privados. De hecho, uno de los mayores capitales de Gran Bretaña fue contar con una industria privada capaz de brindar navíos de línea. A lo largo de los años este país aumentó la cantidad de diques secos y demás instalaciones necesarias para la construcción y equipamiento de los barcos de guerra. Al promediar el siglo XVIII, alcanzó a tener veinticuatro diques secos (Rodger 2006:2972-301).

Por otro lado, Francia contaba con tres bases navales, dos en el Atlántico y una en el Mediterráneo. Aquellas eran las de Brest y Rochefort, y la tercera se ubicaba en Tolón. Asimismo, este país contó con importantes puertos comerciales (e.g. en El Havre, Saint-Malo, Nantes y Bordeaux). La división de la flota francesa en dos mares fue siempre una debilidad, pero al mismo tiempo una oportunidad. La lejanía de la base sita en Tolón le otorgaba un carácter estratégico, ya que las naves allí apostadas podían ser enviadas a cualquier parte del mundo. Gran Bretaña llegó a contar con una escuadra adicional que se destinó a controlar las aguas de Gibraltar (la salida al Atlántico), aunque al inicio de cada una de las guerras del siglo XVIII la flota de Tolón constituyó una complicación para los planes británicos (Rodger 2006:264). El estado de sus astilleros, sin embargo, dejaba mucho que desear. Este país, que durante la segunda mitad del siglo XVII había recibido un empuje notable con el programa de Colbert, continuaba prácticamente con las mismas instalaciones a mediados del siglo XVIII. Los primeros diques secos en condiciones de trabajo, localizados en Brest, fueron habilitados recién en 1756. Empero, no eran lo suficientemente profundos como para albergar un navío de tres puentes. Una desventaja importante frente a los británicos, que además

lucharon por conseguir varias bases navales en ultramar (e.g. en el Mediterráneo, las instalaciones de Gibraltar y Menorca), fue que debían carenar y recorrer sus barcos en tierra, lo que suponía un riesgo para los propios barcos y demandaba mucho tiempo. Reiteradas veces, debido a los esfuerzos a los que estaban sometidos durante el proceso, los cascos quedaban debilitados o seriamente dañados (Rodger 2006:301; Dickie et al. 2012:129).

En cuanto a España, Felipe v heredó los astilleros del Cantábrico (Orio, Guanizo y Pasajes) y del Mediterráneo (Barcelona, San Feliú de Guixols, Arenys, Mataró y Sitges). La política expansiva de este monarca requirió de una mayor infraestructura. Así fue que, a mediados de su reinado, se crearon los Departamentos Marítimos de Cádiz, primero, y los de Ferrol y Cartagena, al poco tiempo, en cuyas cabeceras se establecieron arsenales en los que se construyeron todo tipo de buques. Junto a estos también cobraron empuje los arsenales de América, en particular el de La Habana, cuyos navíos contaban con excelente reputación.

España tuvo tres arsenales en la península. El de Cádiz (La Carraca), se situó en un islote al norte de la Isla de León, en San Fernando. El traslado desde el antiguo carenero de galeras del Puente Zuazo se llevó a cabo en 1724, aunque las obras definitivas se definieron por órdenes de Ensenada en 1749, quien nuevamente le encomendó la labor a Jorge Juan y Santacilia (1713-1773). Varios intervinieron en la construcción de este arsenal, aunque los criterios básicos se mantuvieron hasta finalizadas las obras básicas en 1796. El del norte, Ferrol, se situó originalmente en La Graña, pero bajo Fernando VI y por promoción del marqués de la Ensenada fue trasladado a la costa próxima a la villa de Ferrol, donde en 1750 comenzaron las obras proyectadas por Jorge Juan. Las obras principales de la dársena finalizaron en 1765, aunque los avatares económicos extendieron los trabajos hasta finales de siglo. Este arsenal, que disponía de doce gradas de construcción, fue en su momento el más grande de Europa.⁴⁷ En el levante, las obras de construcción del

⁴⁷ Las instalaciones de Ferrol vinieron a reemplazar a los astilleros cantábricos de Pasajes, Santoña y Guarnizo. Este último cerró en 1732, pero Juan Fernández Isla lo puso nuevamente en funcionamiento a partir de 1751, hasta que aquel estuvo en plenas condiciones de trabajo. Los barcos de guerra construidos en Guarnizo eran equipados y pertrechados en Santander (Castanedo Galán 1999:133,134). La base naval de Ferrol fue el resultado de un proceso de investigación que incluyó lo mejor de los arsenales británicos y franceses, que habían sido estudiados en aquellos años. En cuanto a los suministros necesarios para la construcción naval, cabe destacar, dependió en

arsenal comenzaron en 1731, aunque el impulso definitivo también fue gracias a Ensenada, en 1749. En este caso, los trabajos finalizaron en 1782. Debe notarse que mientras duraron las obras de estos astilleros, Guarnizo continuó abasteciendo a la armada de excelentes navíos y fragatas, en especial durante el período comprendido entre 1745 y 1768 (González-Aller Hierro 1998). En los astilleros allí localizados se elaboraron planes para la construcción de navíos, basados en la extensa experiencia hispana y en conocimientos extranjeros.

Cambios en el diseño y la construcción naval

Los barcos de las principales armadas europeas sufrieron intensos cambios en torno a su diseño y construcción, que tuvieron como fin optimar cualidades importantes tales como la maniobrabilidad, velocidad, estabilidad y solidez (estas dos últimas estaban estrechamente relacionadas con la artillería que podían alojar en sus cubiertas), según las tácticas escogidas por cada una de ellas. Bingeman, al referirse a las industrias de construcción naval británica y francesa, sostuvo que ambas tuvieron sus fortalezas y regularmente hurtaron ideas de la otra (Bingeman 1998:168). Por caso, y sin entrar en detalles técnicos, puede decirse que los barcos franceses se identificaron por tener cascos esbeltos e hidrodinámicos; ello, junto a un velamen amplio y una artillería distribuida en dos baterías, les confería mayor estabilidad y velocidad que a los barcos británicos. Esto supuso una ventaja táctica a la hora de huir frente a una flota superior (Dickie et al. 2012:128,129).

Una de las prioridades de los estados era contar con información. A la par de las investigaciones realizadas en cada lugar para obtener mejoras en torno al diseño y la construcción, y al intercambio de ideas en tiempos de paz, podemos reconocer otros medios que permitieron a las potencias de la época hacerse de los adelantos alcanzados por otros. Los británicos optaron fundamentalmente por sacar provecho de los botines de guerra o presas (a las que le aplicaron ‘ingeniería inversa’); los franceses, por el espionaje industrial; mientras que los españoles por

gran parte de las maderas y los diversos productos de hierro procedentes de las actuales provincias de Vizcaya, Navarra y Santander (véase Rodríguez-Villasante Prieto 1999, para mayor información sobre las obras y el rol de este arsenal).

una combinación de intercambios y espionaje (Ferreiro 2007:16). Ya vimos cómo se conseguían las presas. Con respecto a los otros medios, las vías diplomáticas regulares se conjugaban con un sistema de inteligencia —motivado y sostenido por disposiciones del estado— e incluso con medios extraordinarios de obtención de información. Los planes de espionaje tuvieron alcance internacional y alcanzaron un complejo nivel de organización, entre cuyos participantes podemos contar a funcionarios destacados en el extranjero, científicos, empresarios industriales, aventureros, etc. Algunos conocimientos y avances tecnológicos constituían verdaderos secretos de estado, dado la importancia que estos tenían dentro de ámbitos de especial interés tales como el de la construcción naval y la artillería, y por ello eran bien resguardados. Pero por razones semejantes, también se encontraban en la mira de las potencias extranjeras.

Las contribuciones foráneas en diversos campos de la ciencia y la industria estuvieron lejos de ser excepcionales. Con relación a las innovaciones tecnológicas, las influencias fueron de diverso tipo. Estos aportes provenían de: la información sobre los adelantos de otras regiones, en ocasiones disponible en la bibliografía especializada; los industriales o científicos, que estaban de paso (espías) o instalados de forma permanente en territorio extranjero; y los materiales e ingenios (entre estos, herramientas, elementos componentes de máquinas, etc.) importados. El espionaje de carácter industrial o militar, como medio de acopio de información, productos y personas capacitadas en diferentes ramos, cumplió un rol muy importante, como lo atestiguan las políticas de estado llevadas a cabo por algunas de las potencias de la época.⁴⁸ Dentro de este escenario, las copias fueron materia corriente, y muchas veces contribuyeron significativamente al desarrollo de la localidad anfitriona.⁴⁹

⁴⁸ Varios trabajos sobre espionaje a lo largo del siglo XVIII atestiguan la relevancia que tuvo esta estrategia para adquirir los secretos industriales y militares de otros países (e.g. Harris 1992, 2006; Ferreiro 2007; Bradley 2010).

⁴⁹ A los fines de la investigación, entendemos aquí por copia a una réplica parcial o completa de cierto ingenio de autoría ajena —ya sea al nivel del diseño y/o de la práctica concreta, y se cuente o no con los derechos para hacerlo—, realizada por una persona según sus conocimientos y los medios con que cuenta para ello, y adaptada en función de los requerimientos del contexto de aplicación, las ideas y práctica propias, etc. En este sentido, por un motivo u otro, no se trata de una reproducción fiel, estandarizada, del producto original.

Durante el período analizado, el reconocimiento de las ventajas que supuso lo foráneo en ciertos campos de conocimiento y aplicaciones materiales, condujo a diversas situaciones de transferencia tecnológica. Veamos brevemente dos ejemplos, que tuvieron serias implicaciones con relación a la tecnología naval durante la segunda mitad del siglo XVIII y la primera parte del siguiente.

En Gran Bretaña, los intentos de algunos miembros de la Real Armada por mejorar los defectos de los barcos de guerra durante la década de 1740 estuvieron restringidos por lo establecido en las propias Ordenanzas. En Francia, en cambio, la situación era más laxa. Los constructores, libres de los constreñimientos de rígidos reglamentos, pudieron implementar nuevos conocimientos científicos a fin de perfeccionar el diseño de sus barcos. Así, desarrollaron un nuevo navío de 74 cañones. Con una proa más amplia y una popa más delgada, las líneas del casco le permitían alcanzar una velocidad de 13 nudos (los barcos británicos contemporáneos no podían superar los 11 nudos). Uno de estos barcos, botado en 1744, fue el *Invincible*. Este cumplió un corto servicio bajo pabellón francés, ya que al año siguiente fue capturado cerca del Cabo Finisterre por una flota bajo el mando del Almirante Lord Anson (Bingeman 1998:168,169).⁵⁰

El Almirantazgo, enterado de las ventajas de este diseño, intentó evitar las Ordenanzas de 1745 y mandó construir dos navíos de estas características. No obstante, debido a la carencia de fondos luego de la guerra, el proyecto fue cancelado. Pero los almirantes, y en particular Anson, se convencieron de que este diseño representaba el futuro de los barcos de guerra. El *Invincible* era más grande que los barcos de 2do. rango, pero estaba artillado sólo con 74 cañones. Esta inferioridad numérica estaba compensada por la posición de las piezas de a 32, que estaban ubicadas a unos seis pies sobre la línea de flotación (entre dos y tres pies por encima del lugar que ocupaban los cañones en los barcos británicos). A principios de la década de 1750 los ingleses comenzaron a construir sus barcos de 74 cañones, aunque ligeramente más pequeños. Debido a que estos no fueron del

⁵⁰ Las presas conseguidas durante los numerosos combates y batallas navales que se libraron a lo largo del período que nos ocupa, fueron objeto de copia en varias oportunidades. Al respecto, los británicos destacaron por ser quienes obtuvieron un mayor número de barcos enemigos (véase Archivald 1971:108,109; para el caso de los barcos de más de 50 cañones). Este factor tuvo un peso importante en la disminución de la flota francesa a partir de 1792. Las fragatas enlistadas alcanzaron un número máximo en 1795 (101); desde entonces, menguaron y nunca llegaron a superar las 40 unidades entre 1800 y 1813 (Lavery 1989, citado en Breen y Forsythe 2007:49).

todo exitosos, el Almirantazgo decidió construir el *HMS Triumph* (en Woolwich) y el *HMS Valiant* (en Chatham) en 1757. Los nuevos navíos de línea, basados en el diseño del *Invincible*, conformarían la columna vertebral de la armada por casi un siglo. De allí la relevancia que tuvo la captura de este último para la historia naval británica (Bingeman 1998:168; Ferreiro 2007:24,25).

Las influencias, por supuesto, no circularon en un único sentido. De hecho, si nos remontamos un poco atrás en el tiempo, veremos que el desarrollo del diseño del *Invincible* y de los otros barcos de 74 cañones construidos en Francia antes de mediados del siglo XVIII, en parte fue posible gracias a los conocimientos técnicos que adquirieron los galos de los británicos. En 1737, el Ministro de la Marina Maurepas encomendó a Blaise Ollivier, constructor naval de Su Majestad, en una misión de espionaje a Gran Bretaña y Holanda. El objetivo fue observar el modo en que los navíos de estas potencias marítimas estaban construidos, con miras a mejorar los de su nación.⁵¹ Luego del viaje, Ollivier produjo un copioso manuscrito titulado *Remarques sur la Marine des Anglois et des Hollandois* (traducido por David Roberts como *18th Century shipbuilding: Remarks on the navies of the English & Dutch from observations made at their dockyard in 1737*). De la Fuente sostuvo que aquella misión se enmarcó en un contexto en el que Francia, habida cuenta de la superioridad numérica de los británicos, resolvió intentar mejorar la calidad de sus barcos. De este modo, contribuyó al diseño del navío de línea de 74 cañones (Fuente 2006:22,23). Unos años antes, eran los británicos y neerlandeses quienes espían a los franceses, que gracias a las políticas de Colbert se habían convertido en excelentes diseñadores y constructores navales. Oportunamente, vale decir, aquel reconocido ministro de marina se había ocupado de enviar espías tanto a Gran Bretaña como a los Países Bajos para aprender sus artes navales (Dickie et al. 2012:125).

En España, la arquitectura de los barcos de la segunda mitad del siglo XVIII puede ser considerada el resultado de la confluencia de la práctica de construcción ibérica, de larga data y sobradas cualidades, por un lado, y de los conocimientos de ingenieros y carpinteros de nacionalidad extranjera, en especial británica y

⁵¹ Dentro del ámbito de la industria, McCloy destacó que durante la segunda mitad del siglo XVIII los franceses se abocaron deliberadamente a copiar los métodos ingleses, que por aquel entonces eran los líderes de este campo. Esta carrera habría de jugar un papel relevante en el desarrollo de las innovaciones técnicas de Francia (McCloy 1952:7).

francesa, por el otro. Ya bien por vía directa —digamos presencial, como sucedió en varias ocasiones— o bien de forma indirecta, influyeron sobre las características estructurales de los navíos de pabellón español.

Uno de los casos de espionaje más emblemáticos estuvo estrechamente vinculado a la política de modernización de la construcción naval que siguió Ensenada, bajo el reinado de Fernando VI. Por aquel entonces, como ya vimos, Ensenada estaba a cargo de las Secretarías del Despacho de Guerra, Hacienda, Marina e Indias. A nivel europeo, Gran Bretaña y Francia habían firmado el tratado que puso fin a la Guerra de la Sucesión Austríaca (Aquisgrán, 1748). Dentro de este escenario, España propuso dirigir sus esfuerzos hacia una recuperación acelerada. Esta posición era compartida por el riojano y su principal opositor en el gobierno, el Secretario de Estado y del Despacho José Carvajal y Lancaster, aunque para lograrlo siguieron diferentes caminos. Para cada uno de ellos, el control de los servicios de información era sin duda un aspecto de singular importancia.

Según Taracha, el documento titulado “Lo en que debe consistir el Departamento de los negocios de Estado y de las negociaciones extranjeras”, constituyó un plan completo de espionaje político, económico y militar que incluía los objetivos fundamentales de los servicios de inteligencia de los Borbones. Sobre la base del contenido del escrito, este autor resumió los intereses del gobierno de Su Majestad Católica en los siguientes aspectos: “1) la historia y actualidad de cada país, sobre todo las élites de poder; 2) informaciones generales sobre el territorio, el sistema económico y miliar; 3) el sistema político; 4) el ejército de tierra; 5) las fuerzas navales; y 6) la situación económica” (Taracha 2001:111). Nos interesan especialmente los últimos tres puntos, que conciernen al tema de esta investigación. La forma de hacer la guerra y las armas utilizadas por los demás estados eran aspectos de sumo interés. En lo que a la armada respecta, se buscaba información sobre los puertos, los arsenales y astilleros, la cantidad y características de los navíos de guerra (disponibles y en construcción) y los lugares de donde extraían los materiales para su construcción, entre otras cuestiones. Y sobre la situación económica, el foco estaba puesto en el comercio interior y exterior de los estados.

Ensenada, en paralelo a sus competencias como Secretario, organizó un sistema de inteligencia que escapaba al control de la Secretaría de Estado, que

tenía la tarea oficial de recibir la correspondencia de oficio que suministraban los diplomáticos españoles destinados a las cortes europeas. La preocupación de Carvajal por este tema quedó plasmada en el real decreto del 15 de mayo de 1754, en donde especificó que la información de aquella procedencia debía circular exclusivamente por su Secretaría. Ello no detuvo a Ensenada. Entre otras medidas que siguió para obtener información de su interés —que incluyeron espiar al propio equipo de Carvajal y comunicarse de forma extraoficial con los agregados en el extranjero que debían responder sólo a este último—, organizó misiones temporales de espionaje al extranjero, varias a Gran Bretaña y Francia. Sus redes de información llegaron a cubrir una extensión mayor al área geográfica de la diplomacia ordinaria de Fernando VI (véase Taracha 2011:117-120, para mayor información sobre la estrategia del riojano).

Dentro de este escenario destacó Jorge Juan, que logró introducir en España una serie de innovaciones relevantes en materia de construcción naval (Fig. 2.8). En el prólogo de su obra *Exámen marítimo teórico práctico, ó tratado de mecánica aplicado á la construccion, conocimiento y manejo de los navíos y demas embarcaciones*, enfatizó en la fructífera relación entre los conocimientos científicos y técnicos aplicados al ámbito de la navegación:

“La instrucción del Marinero, si exceptuamos los cortos principios en que se funda el Pilotage, se ha considerado, hasta muy poco tiempo ha [atrás], de pura práctica. La fábrica del Navío, y otras Embarcaciones, y sus maniobras, que es el modo de manejarlas, ha estado siempre en manos de unos casi meros Carpinteros, y de otros puramente trabajadores ú operarios: ninguna dependencia se creyó que tuviesen de la Matemática, sin embargo de no ser el todo sino pura Mecánica: Ciencia, quizás, la mas difícil y más intrincada del mundo; ¿pero qué mucho? En el Marinero, todo ocupado al riesgo, al trabajo y á la fatiga, no cabe quietud para estudio tan dilatado y prolixo; y el estudioso, que requiere suma tranquilidad para la contemplacion, no se acomoda al afan y fatiga extrema del otro, únicas maestras que enseñan con facilidad las resultas que por solo teórica fuera casi imposible descubrir. La dificultad de unir estas dos partes, en que consiste perfeccionar estudio tan manifiestamente útil, le tuvo por consiguiente en tinieblas tantos siglos hace; pero como en el presente han florecido con admiracion las Matemáticas, y se han introducido con beneficio singular en casi todas las Ciencias y Artes, era irregular que no hubiera logrado lo mismo la Marinería...” (Juan 1793:9).



FIGURA 2.8 – RETRATO DE JORGE JUAN Y SANTACILIA.

El grabado, realizado por Anna Maria Mengs (1751–1792), muestra al científico, ingeniero y marino español Jorge Juan (1713-1773), luciendo la cruz ortogonal de la Orden de Malta. Juan fue uno de los principales exponentes de la ilustración española y realizó numerosas contribuciones teóricas y prácticas en diversos campos. Varios objetos aparecen debajo del retrato: un modelo de barco; libros de matemática, astronomía y navegación (e.g. su obra *Examen Marítimo...*); instrumentos científicos; y planos de instalaciones navales (Ferrol y Cartagena). Dimensiones del grabado: 20,9 x 13,4 cm.

Fuente: National Maritime Museum, Greenwich, Londres. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Las palabras de Juan sobre los primeros pasos hacia la articulación de dos mundos, el de la teoría y el de la práctica, corresponden a la opinión de una persona que era protagonista en ambos. Con la particular visión que su posición suponía, presentó la distinción entre el saber esencialmente empírico —que

valoraba en tanto en cuanto no podría ser alcanzado desde el lugar del teórico— del que disponían los constructores de barcos y navegantes, por un lado, y los conocimientos sobre matemática de los estudiosos, que escribían lejos de las exaltaciones de la vida a la que los primeros estaban acostumbrados, por el otro.

Con relación a ello, cabe destacar su actuación como agente secreto en Gran Bretaña. Al igual que Ollivier unos años antes, allí estudió la arquitectura de los barcos y reclutó a un grupo de especialistas que, pese a los inconvenientes, logró conducir hasta España. De este modo, Juan pudo desarrollar un nuevo perfil para las fragatas y navíos españoles, e igualmente importante, contar con los técnicos que le dieron a sus diseños la solidez necesaria (véase Fuente 2006; para mayor información sobre este ilustrado y su rol dentro del proyecto ensenadista). Tal como afirmó este autor:

“El poderío naval [de España] se fundamentaba en una armada moderna, en donde este novator por excelencia aportará mucho: ciencia aplicada, tecnología y organización industrial son los ejes vertebradores” (Fuente 2006:27,28).

Sin embargo, este programa pronto sería dejado a un lado. En su lugar, el Secretario de Marina Julián de Arriaga y Rivera, sucesor de Ensenada, tornó la vista hacia Francia. En el tomo 6 de su magistral obra histórica sobre la Real Armada, Fernández Duro comentó hacia fines del siglo XIX:

“El deseo natural de perfeccionar la construcción naval corrigiendo en los navíos de línea, tipo predilecto, los defectos observados, principalmente los de poca elevación sobre el agua de la batería baja, aguante á la vela y poca velocidad, instaron al ministro de marina D. Julián de Arriaga á invitar al ingeniero francés M. Bouguer á venir á plantear en España el sistema que dirigía en su país” (Fernández Duro [1895] 1972-1973:383).

Bouguer declinó la propuesta, pero le reemplazó el brigadier D. Francisco Gautier (1715-1782), también francés, que en 1770 ocuparía el cargo de Comandante General de Ingenieros de Marina y organizaría el cuerpo de ingenieros, creado ese mismo año por ordenanza especial. Los navíos y fragatas

construidas bajo la dirección y los planos de Gautier fueron puestos a prueba, y comparados con los barcos realizados según el sistema anterior, de la escuela de Juan, que había incorporado conocimientos de la práctica naval inglesa (Fernández Duro [1895] 1972-1973:383).

Le tocaría el ingeniero español José Romero y Fernández de Landa (1737-1807), que sucedió a Gautier tras su muerte, introducir una serie de modificaciones que le valdrían un amplio reconocimiento. Romero y Fernández de Landa volvió al sistema de Juan, y lo mejoró. De ello resultó primero el *San Ildefonso* (1785-1805). Este navío, capturado por los británicos en la batalla de Trafalgar, disponía de una batería espaciosa, era muy gobernable, estable, viraba con facilidad y además podía barloventear como las fragatas. Entre los barcos construidos en Ferrol por aquel entonces, según sus planos, se encuentran el *Santa Ana* (1784-1816), de tres puentes y 112 cañones, y el que fuera considerado como mejor navío de línea español del siglo XVIII, el *Montañés* (1794-1810), de dos puentes y 74 bocas de fuego, labor que estuvo a cargo de Retamosa (González-Aller Hierro 1998:83).

Los casos que acabamos de exponer atestiguan los pormenores, peripecias y reveses que caracterizaron a varios de los emprendimientos navales de aquel entonces. Dentro de este escenario de innovaciones en el diseño y la construcción de los barcos de guerra, también se vieron afectados los elementos de sujeción estructurales, el revestimiento de forro, el equipamiento náutico y la artillería. Nos ocuparemos de los cambios ocurridos en torno a estos componentes en el transcurso de la tesis.



Capítulo 3

TECNOLOGÍA e INNOVACIÓN

En este capítulo nos ocuparemos de introducir algunas cuestiones de índole teórica con relación a la tecnología y los procesos de innovación. El período de nuestro interés fue notoriamente rico en innovaciones técnicas que se aplicaron a diversas industrias, entre estas la naval. El creciente proceso de industrialización, como vimos, fue el motor de muchos de estos profundos cambios. Las políticas internacionales de muchas potencias sumieron a Europa en una serie casi continua de guerras, en las que los ejércitos y las armadas cumplieron un rol significativo. Los medios materiales que estos emplearon en las numerosas batallas libradas por mar y tierra, estuvieron sujetos a importantes cambios. Más de una vez, los requerimientos y desafíos de la práctica bélica avivaron el crecimiento de la industria y promovieron la investigación sobre los materiales, así como la colaboración entre los artesanos, los ingenieros y, en alguna medida, los científicos. El espíritu innovador impregnó a muchas de las personas de la época, y la existencia de diversos incentivos públicos y privados redundaron en la creación de nuevos ingenios (sobre todo en Inglaterra). Estos cambios operaron dentro de un contexto en el que el conflicto, las fábricas y la academia irían paulatinamente estrechando sus vínculos; aunque los beneficiosos resultados de la articulación de las dos últimas se verían de modo más patente durante el siglo XIX. De cara a la

situación internacional, aquellas potencias adoptaron diversas estrategias para obtener nuevos recursos, tanto materiales como humanos. En lo que a la industria naval respecta —y, en general, a todas las empresas lucrativas—, el espionaje cumplió un papel muy importante. Por su intermedio, hubo un continuo trasvase de información a través de las fronteras sobre una amplia diversidad de innovaciones. Para los académicos y especialistas en ciertas artes, las publicaciones nacionales y extranjeras también fueron una vía de acceso fundamental a los últimos desarrollos sobre diversos temas. En el caso de los barcos, las presas de batalla fueron otra fuente significativa de conocimientos acerca de la tecnología de la que disponía el enemigo. Durante muchos años los británicos, en particular, capturaron un número considerable de navíos y fragatas francesas y españolas. La incorporación de novedades foráneas (materiales, máquinas, etc.), muchas veces estuvo condicionada por cierto conservadurismo, propio de ciertos sectores del ámbito naval. De resultas, nos encontramos frente a un panorama complejo, en el que las relaciones entre sus elementos adoptaron formatos diversos. Aquí intentaremos delinear la dinámica general de estas relaciones que nos servirá luego de basamento para analizar el caso particular de la metalurgia y los barcos de guerra europeos entre mediados del siglo XVIII y principios del siglo XIX.

El capítulo se divide en dos secciones principales. La primera estará dedicada a una discusión en torno al concepto de tecnología dentro de las Ciencias sociales. En particular, enfatizaremos los nexos y aportes mutuos de las perspectivas teóricas desarrolladas en el marco de la Antropología —consideramos los estudios arqueológicos dentro de este campo de conocimiento—, la Historia y la Sociología. Allí podremos obtener las herramientas teórico-metodológicas más adecuadas para el análisis de la transformación material de la naturaleza por el ser humano y su vinculación con diversos aspectos socio-culturales. En la segunda sección del capítulo nos ocuparemos de examinar cómo los cambios tecnológicos se ven afectados por, e influyen sobre, el entramado de factores sociales, económicos, políticos, etc. Ello nos permitirá dilucidar varias cuestiones acerca del modo en que operaron las innovaciones que tuvieron lugar en el ámbito naval. Tendremos en cuenta las diferentes perspectivas y temas de interés dentro de las disciplinas mencionadas y afines.

LA TECNOLOGÍA: UNA MIRADA DESDE LAS CIENCIAS SOCIALES

Antes de adentrarnos en tema de particular interés para la investigación, creemos necesario realizar algunas consideraciones básicas en torno a qué entendemos por tecnología. Los estudios sobre esta cuestión han ocupado la agenda de varias disciplinas sociales y humanas durante años; abarcan diferentes contextos temporales y espaciales, aproximaciones teóricas, problemáticas, materiales, etc., variabilidad que se aprecia al interior y entre los distintos campos del conocimiento. Aquí nos enfocaremos en aquellas aproximaciones que son de especial interés a los efectos de la presente investigación y que, pese a haber sido formuladas dentro de contextos disímiles, guardan una estrecha relación entre sí. Resulta crucial enfatizar que las diferentes perspectivas pueden articularse para conseguir un mutuo beneficio. Para ello, deberemos superar los encorsetamientos teórico-metodológicos, abrevando en una aproximación de corte interdisciplinario, operación exigida desde un principio por el propio fenómeno que nos propusimos estudiar (véase Nissani 1997; Newell 2001; Miller 2011; Szostak 2011, 2013; Taekema y van Klink 2011; García 2013; para mayor información sobre la dinámica de las investigaciones interdisciplinarias).

Consideraciones iniciales

Podemos preguntarnos: ¿existe una única forma de entender la tecnología al interior de las Ciencias sociales? A la luz del estado actual de la materia, no parece ser el caso. Las diferencias son de índole semántica, pero también terminológica. Desde las postrimerías del siglo XIX hasta la actualidad, dentro del campo de las Ciencias sociales (e.g. Historia, Sociología y Antropología, por citar las más influyentes en este trabajo) encontramos una multitud de reflexiones en torno a la transformación material de la naturaleza por el ser humano y su vinculación con diversos aspectos socio-culturales. Por supuesto, el interés por el quehacer humano y sus expresiones materiales es anterior a tal fecha, pero fue entonces cuando comenzó a ser abordado por científicos sociales. Estas cogitaciones más recientes dieron lugar, en simultáneo con la especificidad que cobró cada

especialidad, a diferentes formas de denominar, conceptualizar y abordar un mismo eje temático, tanto al interior de cada área —dependiendo del momento y la corriente teórica particulares— como entre los distintos ámbitos de estudio.

El panorama general está regado de discusiones sobre una diversidad de aspectos, tales como la definición del tema, las relaciones entre lo material y las personas en el pasado y en la actualidad —desde el individuo hasta, podría decirse, el ser humano como especie—, las metodologías de análisis, etc., aunque por lo general no trascendieron las fronteras disciplinares particulares. Esta circunstancia merece atención dado que, en ocasiones, muchos aportes significativos realizados dentro de un ámbito no fueron tenidos en cuenta o estimados en su justa medida por investigadores de otras áreas. A su vez, pueden apreciarse orientaciones semejantes —desarrolladas aparentemente de forma independiente y en distintos momentos— con relación a algunas de las aproximaciones en cuestión. Con el tiempo, se acuñaron diversos rótulos, tales como técnica, cultural material y materialidad, que también se fueron cargando de sentidos plurales. El devenir de estos conceptos no fue monolítico ni unívoco.¹ Lo anterior supone ciertos inconvenientes teórico-prácticos con relación al uso de los términos, en especial a nivel comparativo, dada la multiplicidad de acepciones que suele tener cada uno².

Conviene mencionar algunas cuestiones generales que son transversales a las disciplinas consideradas. Los materiales utilizados por el ser humano y sus ancestros, desde los primeros cantos rodados sin modificar previamente a su uso —implementados por los homínidos para romper los huesos de las carcasas animales y acceder a la médula— hasta las máquinas más grandes y complejas jamás construidas (e.g. el transbordador espacial *Saturno V*, la embarcación *Freedom of the Seas*, el acelerador y colisionador de partículas *Large Hadron Collider* o “Máquina de Dios”, por citar algunos de los más reconocidos) pueden ser

¹ Mientras que la etiqueta tecnología atraviesa los diferentes campos de conocimiento (también la encontramos en filosofía y arte), las otras están más asociadas a la antropología y, por ende, también a la arqueología.

² La terminología utilizada es analítica, son términos propios del lenguaje disciplinar e, incluso, del cotidiano, utilizados con independencia del contexto temporal y espacial. Se vuelve necesario utilizar esta clase de conceptos —sobre todo teniendo en cuenta la posibilidad de generalizar— si se busca comprender las dinámicas de otras sociedades (Renfrew 2001: 32). Muchas veces, algunos de estos fueron reemplazados, debido a la carga teórica implícita, aunque por lo general los investigadores prefirieron otorgar una nueva carga semántica a términos usados previamente. Es el caso de los estudios sobre cultura material en Arqueología.

denominados conjuntamente como artefactos u objetos, aunque muchos de ellos sean verdaderas estructuras con cientos de miles de partes componentes. Estos artefactos forman parte de un complejo sistema dentro de cada sociedad, por lo que no constituyen una entidad aislada, con un lógica y mecanismo de funcionamiento propios. Cualquiera sea la denominación que se le otorga al conjunto —en términos generales, técnica, tecnología, cultura material, materialidad; etc. — suele asumirse implícita o explícitamente que esas entidades están constituidas por materiales, personas, conocimientos, espacios, etc., íntimamente relacionados entre sí. Por otro lado, es materia de discusión la definición de las variables involucradas, el tipo de vinculación entre ellas (e.g. el rol que cumplen las personas y los artefactos, en uno y otro sentido) y la relación con otros ámbitos de la sociedad, entre otros temas. Del mismo modo, las posiciones con respecto a la definición de los mecanismos de aprendizaje e innovación, así como el lugar otorgado a los diversos aspectos socio-culturales a ellos asociados, son diversas. Sin pretender llegar a una síntesis de estos abordajes, delinearemos las cuestiones más relevantes para nuestra investigación.

Veamos entonces las principales formas de conceptualizar al quehacer humano y sus expresiones materiales, sus principales implicaciones teórico-prácticas para la investigación y las semejanzas y diferencias significativas al interior y entre las disciplinas mencionadas. La discusión que sigue se apoya sobre una aproximación filosófica —en particular, de carácter epistemológico—, historiográfica y sociológica de las áreas del conocimiento citadas.

Términos, conceptos y teorías

Las disciplinas representan cada uno de los campos constituyentes de la ciencia que están dedicados a conocer —por intermedio de la aplicación de ciertos procedimientos— ciertos ámbitos de la realidad, natural y social. En el caso de las Ciencias fácticas (o empíricas), dentro de las cuales se ubican las Ciencias sociales, la labor científica consiste en analizar y ofrecer respuesta —mediante teorización— a problemas relativos a las entidades que conforman determinado

dominio sociocultural (véase Klimovsky 2005:21-25). El lenguaje es primordial, dado que constituye el medio por el cual se conceptualiza la realidad analizada, es decir el canal de comunicación empleado por las disciplinas científicas. En las investigaciones se emplea un vocabulario particular, i.e. una terminología, para referirse a las cosas o entidades estudiadas.

La terminología constituye un conjunto o sistema de términos. A diferencia de la nomenclatura, cuyos elementos denominan (por extensión, a modo de etiquetas) los objetos de la realidad a los que se aplican, “...las unidades de una terminología designan —y denominan— nociones que pueden ser interpretables...” (Vidal Torres Caballero 1994:85). Muchos de los términos utilizados en el ámbito científico provienen del lenguaje ordinario (común, vulgar), aunque las entidades a las que refieren no necesariamente se corresponden, es decir que pueden diferir sus designaciones. Otros conceptos, en cambio, son acuñados en el marco de ciertas teorías, pudiéndose o no usar expresiones nuevas (véase Klimovsky 2005:55-63). Esta terminología específica se construye conforme a determinada estructuración e interpretación de la realidad (Coseriu 1977:96).

La pluralidad terminológica presente en la bibliografía científica refiere muchas veces a cosas o nociones semejantes. En algunos casos, de hecho, existe cierto solapamiento respecto de los conceptos incluidos, mientras que en otros la distinción entre estos es más palmaria. Por otro lado, debido a la multiplicidad de perspectivas teóricas, un mismo término suele englobar —muchas veces lo hace de forma implícita— diversos campos designativos. Esto se nota especialmente en aquellas disciplinas en las que el pensamiento es divergente —en el que no hay un consenso firme, sino que se caracteriza por numerosos puntos de vista sobre un mismo asunto— es materia habitual (véase Kuhn 1977, para un análisis de la tensión entre el pensamiento divergente y convergente y su rol en el avance de la ciencia). Las variables involucradas en la producción de nuevas ideas al interior de una comunidad académica son diversas. Desde una perspectiva de la Sociología de la ciencia, Collins (1989) destacó que los efectos de las condiciones (externas) políticas y económicas, entre otras, aunque son relevantes, se ven filtrados a través de la estructuración interna de los grupos intelectuales, en particular por el proceso competitivo de apropiación de ideas entre sus integrantes.

Los conceptos aquí discutidos son parte componente de particulares teorías históricas, sociológicas, antropológicas, etc., sobre el comportamiento humano. Su utilización es fundamental para teorizar acerca de este último. En este sentido, los códigos verbales empleados dan cuenta del posicionamiento del investigador (a modo de presupuestos teóricos) con respecto al tema de estudio desarrollado (Becker 2011:59). A lo largo del devenir de las disciplinas en cuestión, las teorías fueron transformándose, e incluso dejándose de lado. Debido a su carácter abierto (véase más abajo), también lo hicieron los conceptos fundamentales asociados a aquellas. A su vez, en el caso particular aquí expuesto, ha existido cierto conservadurismo en lo que al uso de ciertos términos respecta, que fueron sujetos a un proceso de resignificación.

Según Frege (1903), la definición de un concepto por medio del enunciado de sus condiciones necesarias y suficientes, es tarea primordial para que este sea considerado como tal. Este autor y muchos otros filósofos, siguiendo la tradición platónica, han sostenido que los conceptos deben ser cerrados, a fin de posibilitar la inteligibilidad del discurso. Sin embargo, algunos de los conceptos ampliamente utilizados en Ciencias sociales, no pueden ser definidos en sentido estricto. Estos son denominados abiertos; es decir no están gobernados, ni necesitan estarlo, por un conjunto definitivo de criterios (Weitz 1977:19). Esta suerte de carácter no definitivo se aprecia de forma notoria en las diferentes connotaciones de un mismo recurso lingüístico, según el marco teórico particular —y la matriz disciplinaria, tal como la definió Kuhn— y el uso dado a este (e.g. como término teórico, observacional e incluso como referencia a un tipo de programa de investigación). Con el tiempo, términos tales como aquellos ya aludidos, fueron adquiriendo un carácter polisémico (i.e. un mismo rótulo para designar más de un concepto).

Las preguntas acerca de qué son los conceptos (i.e. cuál es su naturaleza) y qué rol cumplen han motivado extensas reflexiones y discusiones filosóficas a lo largo de los siglos. Aquí simplemente consideraremos que los conceptos *tecnología*, *cultura material* y *materialidad* corresponden a aquello que se entiende al interior de la comunidad científica cuando se usa cada una de sus correspondientes expresiones. Dicho de otro modo, los conceptos mencionados no son ni las palabras (términos de la jerga disciplinar) ni las cosas (o cualquier otra entidad a la que hagan referencia específica, que puede existir o no), sino el “intermediario

neutral” entre ellas (sensu Weitz 1977:8). Estos términos, considerados así en el plano del lenguaje, pueden ser denominados teóricos, a la vez que observacionales; son parte integral de las teorías de cada disciplina y, además, refieren a la experiencia sensorial bajo estudio (Gianella 1995:32).

Tecnología, cultura material y materialidad

Nieto-Galan sostuvo con tino que en la actualidad:

“vivimos en un mundo gobernado por máquinas cada vez más complejas y poderosas de cuyas entrañas no sabemos casi nada, y que usamos de una forma cada vez más automática y acrítica. Al mismo tiempo, ignoramos las razones que explican el éxito o el fracaso de dichos ingenios, su origen histórico, las posibilidades alternativas que se plantearon antes de su consumo masivo; una diversidad de propuestas tecnológicas que quizás nunca llegaremos a conocer” (Nieto-Galan 2001:13).

Sobre estos interrogantes, que se extienden de forma retrospectiva al mundo moderno, mucho puede decirse a partir de un análisis de la tecnología desde una aproximación que articule reflexiones de carácter histórico, sociológico, antropológico y arqueológico. Una propuesta como la que aquí nos volcamos a desarrollar, permitirá abrir las puertas al conocimiento de la dinámica tecnológica pretérita, y en especial respecto del proceso de innovación.

Los estudios sobre la tecnología han tenido una larga trayectoria desde las postrimerías del siglo XIX y principios del siguiente. No es de extrañar el lugar que ocupó en las obras de reconocidos científicos sociales, dada la importancia que ha tenido históricamente para el ser humano (Geselowitz 1993:231). Veremos a continuación algunas de las principales corrientes teóricas desarrolladas en el marco de la Historia, Sociología, Antropología y Arqueología. En muchos casos, como ya anticipamos, el diálogo e intercambio (directo o indirecto) entre estas disciplinas fue notable y sumamente beneficioso.

En el campo de la Historia, las obras literarias sobre la historia de las invenciones aparecieron tan tempranamente como el siglo xv. No obstante, hasta principios del siglo xx la mayoría de estos estudios consistieron en cronologías técnicas específicas, manuales y enciclopedias escritos por ingenieros e inventores, que raramente consideraron los aspectos sociales alrededor de la emergencia de la tecnología (Molella 1988). Este autor presentó a los “...tres grandes pensadores que colocaron a la tecnología en el centro de la historia”, quienes virtualmente crearon la historia de la tecnología (Molella 1988:279; la traducción es personal). Las obras del historiador de la economía Abbott Payson Usher (*A History of Mechanical Invention*, 1929), el crítico social Lewis Mumford (*Technics and Civilization*, 1934) y el historiador del arte Sigfried Giedion (*Mechanization Takes Command*, 1948) constituyen abordajes completamente novedosos con relación al tratamiento de la tecnología: todos ellos, a pesar de sus diferentes aproximaciones, tomaron la dimensión moral y humana de la tecnología en su sentido más amplio y la consideraron como un fenómeno esencialmente humano más que un proceso independiente. La realidad de su época los llevó a cuestionarse en qué modo influía la tecnología en la sociedad y la cultura del momento, pero consideraron que con un control y dirección adecuados, aquella sería el eje de la reconciliación entre las necesidades del espíritu humano y las condiciones materiales de existencia (Molella 1988). Muchas de las ideas propuestas por estos estudiosos, como los aspectos asociados a la invención y desarrollo de la tecnología, su relación con la sociedad y los valores humanos, las concepciones e ideas ligadas a una época y los distintos materiales de estudio fueron retomadas por sus sucesores, aunque también es posible apreciarlas en trabajos más recientes de otras disciplinas.

En el ámbito de la Sociología, la preocupación por la tecnología tampoco quedó al margen de las agendas de investigación desde sus propios inicios. Una forma de entender la tecnología es en función de la actividad productiva. Según Marx las tecnologías, que él denominó como productos, son el resultado de la adaptación de los frutos de la naturaleza a las necesidades humanas por medio de la producción (Marx [1857] 1987). Pero estos productos sólo se constituyen como tales en el acto del consumo (del uso). Este crea la necesidad de una nueva producción, al mismo tiempo que esta es necesaria para que exista consumo: ella genera el material para el consumo, la forma de consumo y el sujeto consumidor

(Marx [1857] 1987). Con posterioridad, algunos investigadores adoptarán una postura centrada en la utilidad para la que fueron hechos los objetos, impresa desde su producción, mientras que otros harán hincapié en el significado y rol de los artefactos en función de su puesta en acto dentro de las relaciones interpersonales, durante su período de consumo. Una postura más holística englobará a ambas, interesándose por las distintas instancias de la vida social de las cosas (véase más abajo).

El campo conocido como Sociología de la tecnología (o estudio social de la tecnología) es relativamente reciente. Los trabajos más importantes fueron elaborados a partir de la década de 1980. En líneas generales, estos estudios ahondan en los complejos procesos de interacción y configuración recíproca entre la sociedad y la tecnología. Las principales perspectivas son conocidas como: el enfoque de sistemas, el constructivismo social y la teoría del actor-red (Aibar 1996). Según este autor, estos estudios realizan una crítica profunda a dos aspectos fundamentales del determinismo tecnológico. Por un lado, la idea de que la tecnología constituye un ámbito con una lógica propia, cuyo desarrollo es inevitable e independiente de la sociedad. Por el otro, que la tecnología influye de forma significativa sobre esta última, como un factor externo (determinismo tecnológico, *sensu stricto*). A esta posición se encuentra asociada la idea del desarrollo lineal de la tecnología (sucesión de etapas conectadas en un sentido único). Los análisis constructivistas, en su lugar, harán hincapié en los factores sociales de diverso orden (e.g. económico, político, cultural) que modelan a la tecnología. Consideran además los efectos que esta tiene sobre la sociedad, pero no los entienden como resultado de características inherentes, sino como parte de la interrelación de ambas. No se concede un lugar privilegiado a lo social (determinismo social). Antes, el énfasis está puesto en las interacciones entre la sociedad y la tecnología como parte de una dinámica de configuración mutua (e.g. Pfaffenberger 1992; Klein y Kleinman 2002). En cuanto a los diferentes enfoques, siguiendo el trabajo de Aibar, el primero adopta una noción sistémica de la tecnología: los componentes técnicos y sociales de diverso orden que conforman un sistema sociotécnico se encuentran conectados mediante una estructura, se influyen mutuamente (las relaciones no son únicamente sociales ni tecnológicas, sino sociotécnicas) y suelen estar controlados de forma centralizada. El segundo, la

construcción social de la tecnología (SCOT, en inglés), afirma que los diferentes grupos sociales definen significativamente a los artefactos. Dos aspectos interesantes de esta perspectiva son: 1) el análisis simétrico de la tecnología; es decir, la eficacia de un artefacto no puede ser considerada por sí mismo como causa del éxito posterior, antes debe ser vista como consecuencia de un proceso complejo previo o del objetivo estratégico de los individuos y 2) el estudio de la estabilización de los artefactos (la forma final, pero no definitiva), que dependerá de las significaciones atribuidas y del condicionamiento de las estructuras (entorno dinámico, generado con cada proceso de estabilización) que actúan a la vez como potenciadores y limitadores de los actores. En el tercer enfoque se busca analizar la tecnología en acción, indagando las asociaciones establecidas entre elementos heterogéneos (naturales, técnicos, sociales) y los mecanismos de estabilidad y cambio que las afectan. El concepto central que define a los elementos y asociaciones, de cuya consolidación depende el éxito de una tecnología, es el de actor-red. Este es, a la vez, el actor que establece asociaciones con otras entidades discretas, y la red misma, que da significado y transforma cada uno de los elementos que la componen (Aibar 1996).

La Antropología también provee un marco para dar cuenta de la articulación entre la tecnología y la sociedad. No obstante, cabe resaltar que esta disciplina estuvo tradicionalmente focalizada en los proyectos etnográficos. Y dentro de este escenario, la tecnología ocupó un lugar subordinado. Como excepción de lo anterior podemos situar a la temprana propuesta sociológica-antropológica de Marcel Mauss, que tuvo profundas implicaciones en los demás antropólogos (en especial franceses) tiempo más tarde. Su trabajo pionero, *Les techniques du corps* (1935), constituyó la base de los posteriores estudios sobre tecnología, aunque este campo debió esperar alrededor de medio siglo para ser desarrollado (Lemonnier 1992:1). En esta obra, Mauss destacó que las técnicas son, por encima de cualquier otra cosa, una producción social (un paralelo notable con lo que sostuvieron varios historiadores contemporáneos). Algo distintivo de su enfoque fue que, según argumentó, muchos de los actos más cotidianos o naturales de las personas —en las que no necesariamente se ven involucrados objetos— están altamente socializados.

La tecnología —o las técnicas, término que se utiliza indistintamente dentro de esta corriente antropológica— comprende “...todos los aspectos del proceso de acción sobre la materia, sea esto resacarse la nariz, plantar batatas, o fabricar jumbo jets” (Lemonnier 1992:1; traducción de Andrés Laguens). Siguiendo con las ideas originales de Mauss, Lemonnier sostuvo que las tecnologías no son sólo cosas y los medios utilizados por la sociedad para actuar sobre la materia, sino que —y diremos en este punto, al igual que para muchos otros etnólogos, arqueólogos e historiadores— son producciones sociales en sí mismas (Lemonnier 1992:1). Los artefactos deben ser considerados por lo que son: sólo una parte de la tecnología. A pesar de ello “...la gran masa de estudios (...) han estado dedicados a los artefactos, y sólo a los artefactos” (Lemonnier 1992:4). Esta afirmación deja entrever el fuerte sesgo material en detrimento del estudio de los demás aspectos socioculturales íntimamente relacionados. Continuando con la propuesta de este autor, las técnicas presentan tres niveles de interacción que le otorgan al conjunto un carácter sistémico (*technical system*): 1) una técnica está formada siempre por múltiples componentes: las secuencias de acción, las herramientas (incluyendo al cuerpo humano), los gestos, las fuentes de energía, los actores y las representaciones; ellos forman un sistema, en el sentido que si uno cambia puede suceder un cambio en uno o varios de los otros (i.e. cada técnica es el locus de múltiples interacciones y de constantes ajustes entre sus elementos); 2) en una sociedad dada en un momento determinado, varias técnicas están relacionadas unas con otras de varias formas y por varios motivos; 3) un sistema técnico es siempre parte de un todo socio-cultural que lo incluye, de modo que se encuentran sujetos a transformaciones recíprocas. Es importante tener en cuenta que la forma en que un objeto es fabricado, usado o intercambiado está relacionada con sistemas de prácticas y creencias que van más allá de los aspectos estrictamente materiales (véase Lemonnier 1986, 1993, 2003).

Es indudable que la Arqueología, en tanto campo de investigación que se ocupa de estudiar el comportamiento humano sobre la base de los restos materiales, evidencia por excelencia de sus actividades pasadas (Trigger 1992), posee un lugar privilegiado en lo que al análisis de la tecnología respecta. No obstante, los aportes teóricos en torno a esta cuestión fueron durante mucho tiempo comparativamente escuetos con respecto al de otras disciplinas.

En sus inicios decimonónicos, la orientación de la Arqueología con respecto a los materiales estuvo más bien caracterizada por la lógica —imperante desde tiempo atrás— propia del coleccionismo. La preocupación fundamental radicaba en establecer secuencias ordenadas de los restos hallados; la descripción e identificación de artefactos era (y sigue siendo) la base de cualquier análisis ulterior. Adam Smith había establecido en 1762 un sistema escalonado que los arqueólogos incorporarían un siglo más tarde para organizar y clasificar los instrumentos líticos, las vasijas y los bronce, según una secuencia evolutiva y progresiva, acorde a las teorías imperantes con relación al progreso humano (véase más abajo). Al respecto, Gamble destacó que este sesgo ha perdurado hasta la actualidad, donde “...la medida del progreso sigue siendo la tecnología, hasta el punto de que no importa si sabes conducir o no, sino *qué* es lo que conduces” (Gamble 1994:12).

Desde fines del siglo XIX y durante la primera mitad del siguiente, predominaron varias orientaciones que en conjunto se pueden englobar como parte de la Arqueología tradicional —histórico-cultural o normativa, según sus denominaciones a posteriori— que hizo hincapié en el estudio de las particularidades de las diversas culturas. Los restos arqueológicos se consideraron definitorios de los tipos culturales: en el caso norteamericano, estos se clasificaron de acuerdo con la presencia de cierto conjunto distintivos de artefactos (e.g. tipos de instrumentos líticos o cerámicos, equiparables con los rasgos etnográficos), mientras que entre los investigadores europeos primó la organización de las distintas culturas de acuerdo con la presencia de frecuencias de artefactos formalmente clasificados, es decir que dos conjuntos se comparaban a partir de las cantidades relativas de los distintos tipos de artefactos (Binford y Sabloff 1982). En la mayoría de los casos, la cultura material se consideró a grandes rasgos como un reflejo directo de las ideas y normas de la sociedad, relativamente homogénea y estable al interior de cada cultura, sujeta a procesos de cambio anclados principalmente en el difusionismo (véase Trigger 1992; Johnson 2000). En Europa, por ejemplo en la escuela francesa, podemos resaltar el aporte que hizo Leroi-Gourhan desde la década de 1960 (e.g. Leroi-Gourhan 1971, 1988, 1989), que abordó estas cuestiones desde enfoques teóricos y de método sobre la base de temas como la tecnología y el arte, principalmente.

En EE.UU. y otras regiones, la propuesta de Binford (1962) tuvo fuertes repercusiones. Esta se orientó hacia la explicación más que la explicitación de acontecimientos específicos —característica de la orientación histórica, que continuó prevaleciendo en Europa— y a la consideración de la cultura como un sistema compuesto por múltiples subsistemas (social, tecnológico e ideológico) interrelacionados. Dentro de este enfoque, la relación con el medio exterior se volvió crucial para explicar el funcionamiento de las sociedades. El énfasis puesto en los diversos aspectos componentes de cada cultura, quedó soslayado por una orientación fuertemente materialista, por lo que la mayoría de los estudios que seguirían por este camino se preocuparían en particular por los artefactos *tecnómicos* —la tecnología, entonces, se entiende de un modo restringido— aquellos que poseen su contexto funcional primario en contacto directo con el ambiente físico.³

La consideración inherentemente social de la tecnología fue paulatinamente reconocida dentro de la comunidad académica. Pero el estudio de dichos aspectos socioculturales fue abordado de forma integral años más tarde, sobre todo a partir de los intereses cognitivos de los arqueólogos procesuales (a partir de la década de 1970), así como por el programa propuesto por algunos dentro de la denominada Arqueología post-procesual, entre cuyos primeros exponentes cabe destacar a Ian Hodder. Estas diversas aproximaciones fueron muy diferentes entre sí —los primeros siguieron dentro del marco de rigurosidad metodológica de la Arqueología procesual, mientras que los segundos se volcaron por análisis de tipo hermenéutico y fenomenológico— aunque compartieron su interés por concretar

³ Es notable destacar que existe un gradiente de dificultad en la interpretación de los datos, de acuerdo con el tipo de aspectos que se consideren. Así, la tecnología es la categoría más fácil, y le siguen en orden creciente de dificultad la economía (fundamentalmente la subsistencia), la organización social y política, y finalmente la ideología (Hawkes 1954, citado en Trigger 1992:362). Esto último se debe, según Childe (1956, en Trigger 1992:363), a que algunos aspectos están más sujetos que otros a un condicionamiento por parte de factores basados en regularidades del mundo natural (e.g. la relación entre la fuerza y dirección del golpe aplicado sobre un guijarro y el tipo de lasca que se obtiene como resultado). Una corriente importante de estudios dentro de la arqueología se relaciona con la organización de la tecnología de sociedades de cazadores-recolectores. Por caso, Nelson (1991) analizó las diferentes estrategias de resolución de problemas que desarrolla el ser humano en el interjuego con el ambiente (tecnologías conservadas, expeditivas y oportunistas), mientras que Bamforth (1986) examinó distintos aspectos y contextos de aplicación del comportamiento de conservación, en particular para el caso de los instrumentos líticos.

la práctica de una Arqueología más holística, a diferencia del materialismo propio de la *subsistence-settlement archaeology* (*sensu* Flannery y Marcus 1998:35).

El rol activo de los individuos dentro de la configuración de la sociedad pronto cobró visibilidad dentro de las propuestas de algunos arqueólogos. Esta idea de transformación hunde sus raíces en la teoría marxista. Dentro de este contexto, los objetos dejaron de ser considerados como un producto directo del comportamiento humano, un reflejo pasivo del sistema sociocultural, y pasaron a verse mediatizados por las ideas, creencias y significados de individuos dentro de un contexto histórico-cultural específico (véase Hodder 1988). Desde diversas perspectivas teóricas, varios autores contribuyeron con la comprensión de los procesos de significación. Al respecto, Renfrew destacó que durante las últimas décadas del siglo pasado se pudo apreciar una creciente articulación entre los estudios sobre tecnología en Arqueología y Antropología social, que redundó en una contribución mutua. Este referente de la denominada Arqueología cognitiva, se interesó en los últimos años por el involucramiento humano con el mundo material a lo largo de su historia (véase Renfrew 2001a). En otro de sus trabajos, propuso un enfoque hipostático para el estudio de la simbolización material, superador de la tradicional perspectiva dicotómica mente *versus* substancia. Resaltó la praxis en el mundo material, el lugar de este último como componente básico preexistente sobre el cual los conceptos adquirieron significancia: el proceso de substanciación que se dio de forma creciente a partir del sedentarismo (Renfrew 2001b).⁴

Durante las últimas décadas se hizo hincapié en la vinculación entre las personas y los objetos a lo largo de la historia de cada uno de ellos. Más allá de los acercamientos sobre la vida de uso (*use-life approaches*, en inglés) de los artefactos, focalizados en los cambios morfológicos y funcionales, se ubica la perspectiva de Gosden y Marshall (1999). Según esta perspectiva, las personas y los objetos sufren constantes transformaciones que se encuentran mutuamente vinculadas. Los referidos autores proponen el estudio de la biografía cultural de los objetos desde diversos acercamientos (e.g. a partir de la observación de las

⁴ Otros se enfocaron en el proceso de materialización de la ideología —entendida como una fuente de poder social— y en la posibilidad de estudiar los procesos de competencia, control y negociación de las relaciones al interior de la sociedad por intermedio de las distintas expresiones materiales (De Marrais et al. 1996).

alteraciones físicas de las piezas, de los contextos de intercambio o del análisis de determinada *performance*) para elucidar el proceso de interacción social a partir del cual se crean, negocian, e incluso reconfiguran, los significados y valores de las cosas (Gosden y Marshall 1999). En otro trabajo, Gosden (2005) se centró en la agencia de los objetos, en el rol activo de determinados grupos de artefactos —que crean universos estilísticos con una lógica exclusiva— sobre las personas que los producen y hacen uso de ellos. Allí destacó la necesidad de concentrarse en la lógica de los conjuntos de cosas y en sus efectos más que en su significado, que en última instancia es inaccesible.

Muchos de estos argumentos vinculados con el rol activo de los individuos y los objetos, dentro de contextos de actividad particulares, hicieron eco en los estudios de Arqueología histórica, sobre todo a partir de la década de 1980. Antes de esta época, imperaba la concepción ontológica que asumía que los materiales podían ser considerados como productos o residuos de una cultura determinada. Desde esta perspectiva, se puso énfasis en las transformaciones e implicancias materiales de las actividades pasadas, que eran pasibles de ser explicadas mediante el análisis de los patrones en la evidencia. Esto constituía la postura clásica de la Arqueología procesual norteamericana. Paulatinamente, muchos arqueólogos históricos comenzaron a escribir desde una ontología diferente. Retomando ideas ya comentadas, los objetos pasaron a considerarse parte integral de un sistema de significados y acciones en el que el espacio mismo es visto como un objeto culturalmente mediatizado, i.e. socialmente construido (véase Paynter 2000).

Con relación a lo anterior, más recientemente Cochran y Beaudry realizaron un paneo sobre las distintas maneras de abordar la cultura material dentro de la Arqueología histórica, particularmente en EE.UU. y el Reino Unido. Señalaron que hasta la década de 1990 las investigaciones dedicadas al estudio detallado de artefactos se focalizaron en aspectos formales (e.g. tipología y cronología) por sobre los interpretativos.⁵ Durante las últimas décadas, los estudios sobre cultura material fueron combinando de modo creciente teoría y método provenientes de

⁵ Los estudios desarrollados por especialistas en cultural material (*sensu stricto*) son ampliamente conocidos por su utilidad para el estudio arqueológico de los sitios históricos. En el ámbito norteamericano, en particular, ha tenido notable incidencia al respecto el libro de Hume, *A Guide to Artifacts of Colonial América* (1980), al igual que otras obras de similares características (i.e. catálogos y manuales de artefactos).

las Ciencias sociales, y en particular según perspectivas de la Arqueología post-procesual. Así, el foco se fue trasladando hacia la relación entre los objetos y las personas dentro de contextos sociales específicos. En el Reino Unido, a partir del trabajo de Miller *Material Culture and Mass Consumption* (1987), se puso en primer plano el estudio del consumo, la vida social diaria y el rol activo de los artefactos (Cochran y Beaudry 2006:195).

Las discusiones en torno a cómo se entienden la cultura material y la materialidad, giran en torno a la problemática anterior. El empleo de estos dos términos, vale decir, es prácticamente exclusivo del ámbito de la Arqueología y, en particular, de la Arqueología histórica (véase Cancino Salas 1991; Landa 2011, para una revisión sobre las diferencias conceptuales y usos de estos términos). Miller y Tilley sostuvieron que los estudios de la cultura material dentro de la Antropología deben ser más ampliamente definidos como la investigación de la relación entre las personas y las cosas. En función de ello, argumentaron, el rango de disciplinas que están de una u otra forma asociadas con su estudio es tan amplio como las Ciencias sociales mismas (Miller y Tilley, citado en Cochran y Beaudry 2006:197). Consideramos que esta noción de cultura material, que permite rechazar los rígidos esquemas clásicos que segregan los objetos de las personas, se encuentra próxima a la de materialidad.

Según Meskell (2005), los estudios en Arqueología han oscilado tradicionalmente entre aquellos dedicados al análisis de los objetos (i.e. morfología, materia prima, manufactura, función) y otros más interesados por las relaciones sociales involucradas alrededor y más allá de estos (e.g. significados, prácticas, historias). Los estudios sobre materialidad, en cambio, están netamente enfocados en la relación dialéctica entre las personas y las cosas, en un tiempo y espacio determinados. El interés radica en analizar cómo la sociedad concibe y construye su entorno material, a la vez que es forjada por este; en la interrelación de los aspectos sociales, temporales, espaciales y materiales. Los objetos permiten materializar lo inmaterial, de allí que la presencia física sea considerada como el puente que permite volver tangible y eficaz al pensamiento abstracto y las creencias (véase Meskell 2005:1-7).

Para el contexto del mundo moderno, y siguiendo lo expuesto en la citada obra de Miller, Johnson (1996) criticó las aproximaciones que consideran a los objetos

como simples mercancías, posturas focalizadas en la producción y que desconsideran el ámbito del consumo. En contraposición, el autor destacó a este último como el lugar donde las personas negocian y reclasifican los significados de las cosas con diferentes propósitos. Abogó además por examinar de cerca la relación entre ambas etapas (i.e. la de producción y del consumo), y analizar así la forma en que la relación entre los objetos y sus significados cambian a la par de las ideas sobre uno mismo y otras personas.

En todos estos intentos por delimitar y especificar el modo de entender aquello a lo que los conceptos de tecnología, cultural material y materialidad hacen referencia, encontramos ciertos solapamientos significativos. Estos, en muchos casos, fueron producto de la comunicación entre las diferentes disciplinas. Por ello, resulta claro que las propuestas teóricas de los distintos campos de las Ciencias sociales pueden verse enriquecidas a partir de un abordaje interdisciplinario (veremos más adelante que esta perspectiva se extiende hacia las Ciencias naturales). Sobre la base de lo expresado y en vistas del particular recorte de la realidad al que decidimos dedicarnos en esta investigación, diremos que la tecnología no es ni una entidad empírica con una lógica y fines propios, ni una mera colección de las producciones concretas de las personas. En su lugar, nos inclinamos por entenderla como un complejo entramado de conocimientos y relaciones interpersonales dentro del que cobran significación las expresiones materiales producidas y utilizadas al interior de una sociedad en determinadas coordenadas espacio-temporales. En un sentido más estricto, por tecnología podemos referirnos también a una determinada parte de un sistema más amplio (e.g. la tecnología naval o la tecnología metalúrgica, por citar dos casos de los que hablaremos extensamente en este trabajo).

El análisis de la tecnología moderna, desde un momento que hunde sus raíces en el propio pasado objeto de análisis, merece en este punto un breve comentario de índole teórico-metodológico. El clásico problema de la subjetividad del investigador cobra en este caso un sentido especial, debido a que muchos aspectos de aquel entonces guardan cierta relación de continuidad —matizada por las circunstancias históricas particulares de cada caso— con los actuales. Esta leve familiaridad no nos confiere, sin embargo, una licencia para realizar simples paralelismos, habida cuenta de los hartos conocidos inconvenientes que estos

suponen. Cabría preguntarse si al interior de nuestra propia sociedad puede realizarse una interpretación de primer orden.

Renunciando a cualquier pretensión rígida de objetividad, pero buscando acortar lo más posible la brecha entre el fenómeno estudiado y nuestra representación acerca de este, anclaremos esta investigación en la interpretación del caso conforme a sus circunstancias históricas particulares. Por esta razón es que dedicamos una parte importante del escrito a exponer el contexto socio-cultural general y las características de la tecnología que son objeto de la investigación. Pasemos ahora a desarrollar, desde un plano principalmente teórico, la cuestión de la dinámica en torno al cambio tecnológico.

LA DINÁMICA DE LAS INNOVACIONES⁶

La idea tradicional de progreso

A modo de obertura, es necesario que dediquemos unas palabras a comentar una idea de fuerte raigambre positivista, que alcanzó especial protagonismo dentro del ámbito académico y actualmente se encuentra —a la luz de los avances tecnológicos de los últimos siglos— impregnada con fuerza en el sentido común; nos referimos a la noción de *progreso*, social y tecnológico.

La fe en el progreso está estrechamente ligada a la filosofía mecanicista. Esta dio paso durante el siglo XVIII a la creciente secularización del pensamiento, mediante el desplazamiento de la religión, como instrumento de conocimiento y de verdad. El progreso podía considerarse como un acercamiento a un objetivo o como el alejamiento “positivo” de un punto inicial. Los exponentes de aquella época que dieron por cierta su posición pretendidamente superior, optaron por lo segundo. El progreso se convirtió en la negación del pasado. La sociedad quedó dividida entre aquellos con ideas progresistas (radicales) y quienes se aferraron al

⁶ El sentido con el que entendemos al término *innovación* (del lat. *innovatĭo, -ōnis*) es el de modificar algo, mediante la introducción efectiva de los cambios. Para referirnos simplemente a la novedad, con independencia de su aceptación, hablaremos simplemente de invención.

orden establecido (conservadores). Los primeros reclamaron el futuro para ellos y confiaron plenamente en el beneficio del comercio, la libre empresa y los inventos, en particular las máquinas, que se convirtieron en el nuevo artículo de fe (Mumford 1960:285-287).

Los estudios científicos sobre la naturaleza del ser humano —del hombre, según la bibliografía contemporánea—, en cuanto sus aspectos físicos, intelectuales y morales, comenzaron a desarrollarse en el siglo XVIII (véase Bilbao 1991). Durante esta época y, sobre todo, durante la primera mitad del siglo XIX, las ideas de progreso asociadas a la historia humana fueron ganando espacio. Se hizo hincapié ante todo en las cualidades excepcionales y superioridad de nuestra especie respecto del resto de los animales. En los escritos de varios profesionales franceses que desde temprano abogaron por un estudio situado de los pueblos salvajes, vislumbramos algunas consideraciones que luego serían desarrolladas por otros. En 1800, Louis-François Jauffret escribió: “Está entre las tareas de la Sociedad [*Société des Observateurs de l’Homme*] (...) redescubrir de algún modo el camino que debieron recorrer los primeros hombres...” (Jauffret [1800] 1991:40). Y en el mismo año, Joseph-Marie Degérando expresó: “En los salvajes, podemos encontrar los materiales necesarios para componer una escala exacta de los diferentes grados de civilización, y para asignarle a cada uno las propiedades que lo caracteriza” (Degérando [1800] 1991:76).

La noción de progreso estuvo estrechamente asociada a la perspectiva evolucionista, que hundía sus raíces en el siglo anterior. Los cambios en una sociedad fueron vistos como parte de una secuencia de estadios evolutivos, de lo simple a lo complejo (e.g. salvajismo, barbarie y civilización, por citar la secuencia más conocida). Estas instancias se caracterizaban por una suma de rasgos, que en su conjunto las definían y servían como indicadores del grado de avance para comparar sociedades pasadas y contemporáneas. Estaban conectadas entre sí, sin solución de continuidad, de modo unilineal y unidireccional. El ser humano, a lo largo de su historia había transitado una tras otra hasta alcanzar la máxima expresión de racionalidad: la sociedad occidental decimonónica (algunos acotaron esta posición a la sociedad británica). Este camino era inevitable, formaba parte de una dinámica universal del desarrollo de la naturaleza y del ser humano.

Con relación al desarrollo de las facultades del ser humano, el máximo representante del evolucionismo biológico lo expuso así:

“Creer que el hombre se presentó en el mundo ya civilizado, y que después se sumergió en la más completa degradación en tantos países, es formar una idea bastante pobre de la naturaleza humana. Más verdadero y consolador es creer que el progreso ha sido mucho más general que el retroceso, y que el hombre, a pasos lentos y a veces interrumpidos, es cierto, se ha ido elevando desde la condición inferior en que nació hasta el grado más alto que hasta ahora ha alcanzado en sabiduría, moral y religión” (Darwin [1871] 1943:196,197).

Los antropólogos y otros científicos sociales de la segunda mitad del siglo XIX (e.g. Morgan, Taylor, Spencer, Bachofen) abrevaron en estas ideas. En esta época, a la luz de los profundos cambios asociados a la industrialización en Europa, especialmente en Inglaterra, la tecnología fue vista como la expresión patente de los logros alcanzados únicamente por la sociedad occidental. Así, pasó a ocupar un lugar preponderante —en la academia y para el vulgo, que aún gusta emplear este criterio— para definir el progreso. En la primera parte de *La Sociedad Primitiva*, titulada ‘Desarrollo de la inteligencia a través de invenciones y descubrimientos’, Morgan sostuvo:

“Recomponiendo las diversas trayectorias del progreso hacia las edades primitivas del hombre, esperando una de otras según el orden de aparición de los inventos y hallazgos por un lado, e instituciones por otro, comprendemos que aquellos mantienen entre sí un vínculo progresivo y éstos una relación de desarrollo” (Morgan [1877] 1970:9).

En esta misma sección Morgan definió las características de los diferentes grados de progreso del hombre. Adoptó los períodos salvajismo, barbarie (que subdividió en inferior, medio y superior) y civilización, que distinguió principalmente sobre la base de la presencia/ausencia de implementos y artes de subsistencia. Cada uno de estos estadios representaba una cultura diferente y un modo de vida más o menos particular. La información de que dispuso sobre sociedades pretéritas y de su tiempo lo llevaron a afirmar que el curso de las

principales instituciones sociales estaba determinado y circunscripto por la racionalidad del hombre y las limitaciones de sus facultades. Y con respecto al cambio, señaló que desde el comienzo hasta la actualidad se produjo a un ritmo irregular pero esencialmente geométrico (véase Morgan [1877] 1970).

Las secuencias estrictamente tecnológicas (e.g. las edades de piedra, bronce y hierro, definidas por el historiador danés Christian Jürgensen Thomsen) no fueron privativas del evolucionismo, aunque con él adquirieron un sentido especial y alcanzaron categoría teórica. Las duras críticas recibidas por la escuela norteamericana conocida como particularismo histórico y el funcionalismo británico durante las primeras décadas del siglo xx, dieron como resultado el abandono de muchos de los supuestos y proposiciones previas (véase Harris 2009; Lischetti 2014; entre otros, para mayor información sobre la historia del pensamiento antropológico). Lévi-Strauss, en su discusión sobre el pensamiento salvaje y moderno sostuvo:

“la lógica del pensamiento mítico nos ha parecido tan exigente como aquella sobre la cual reposa el pensamiento positivo (...) la diferencia no consiste tanto en la cualidad de las operaciones intelectuales, cuanto en la naturaleza de las cosas sobre las que dichas operaciones recaen. Los tecnólogos, en su dominio, se han dado cuenta de esto hace mucho tiempo: un hacha de hierro no es superior a un hacha de piedra porque esté ‘mejor hecha’ que la otra. Ambas están igualmente bien hechas, pero el hierro no es la misma cosa que la piedra” (Lévi-Strauss 1984 [1958]:210).

Ya despojadas de las cargas valorativas del progreso decimonónico, las periodizaciones tecnológicas (en sentido estricto, i.e. de artefactos) continuaron siendo materia corriente, sobre todo en los campos arqueológico e histórico; no como un fin en sí mismas, sino como un instrumento analítico. Estas taxonomías históricas suelen estar basadas en ‘tecnologías críticas’ que definen ciertos períodos de desarrollo. Aunque resultan valiosos, muchos de estos marcos ponen demasiado énfasis en ciertas tecnologías particulares. En su lugar, otros insistieron en el carácter complejo y multisectorial de las innovaciones (en particular en el mundo moderno), que requiere tener en cuenta la coexistencia de múltiples modos de cambio, procesos institucionales y formas de organización, en diferentes

sectores y regiones (Bruland y Mowery 2006). Veamos un ejemplo pertinente a nuestra temática de interés.

La construcción naval moderna

A lo largo de la historia, asistimos a diversos cambios en materia de diseño y construcción naval. En ocasiones, muchos de estos se han analizado según criterios evolutivos (véase Conlin 1998, para un análisis de los mecanismos de generación de variabilidad, selección y transmisión de rasgos culturalmente deseables en el caso del diseño naval). Al respecto, Gould sostuvo que en lugar de intentar ubicar a los naufragios dentro de secuencias —de evolución tecnológica— de carácter progresivo y lineal, es necesario considerar la importancia relativa de las técnicas conocidas, e incluso otras, en diferentes períodos y lugares (Gould 2000:24). Con respecto al diseño y construcción naval, se enfocó en el caso de la persistencia del método a tingladillo (*clinker* o *shell-first*, en inglés) en determinados lugares, e.g. hasta el siglo xvii en Holanda, i.e. luego del establecimiento generalizado de la técnica a tope (*carvel* o *frame-first*, en inglés). En este sentido, hizo alusión a la introducción temprana de la construcción a tope en el contexto del comercio marítimo romano y se interrogó acerca de cuán típica era allí esta modalidad. Sugirió que tal vez los constructores del período eran más eclécticos e ingeniosos de lo que se ha imaginado. Quizá ambos métodos fueron parte de un extenso repertorio de técnicas empleado por las mismas personas según las circunstancias. Por ello, es necesario conocer mejor tales condiciones a fin de explicar la ocurrencia de los mencionados métodos de construcción (Gould 2000:25).

Por otro lado, es necesario dejar a un lado ciertos preconceptos acerca de la navegación en el pasado (Gould 2000:26). Un ámbito en el que han primado las interpretaciones románticas es el de las réplicas de barcos. Muchas de las naves del descubrimiento fueron reproducidas a tamaño real, pero según criterios que dieron como resultado ejemplares que se parecen poco o nada a los originales (Bunningham 2001). A partir del caso expuesto a continuación, podrá apreciarse la importancia de realizar un diseño de investigación adecuado, en particular si se busca obtener información significativa para analizar la tecnología naval.

El proyecto de la réplica del *Duyfken* (1606) tuvo entre sus principales cometidos construir un barco que navegara lo suficientemente bien como para emular los logros de aquel con el que se realizó el primer viaje —del que se tenga registro histórico— a Australia. La réplica se planteó, en este sentido, como un trabajo de Arqueología experimental que podría contribuir a analizar por qué los holandeses continuaron construyendo sus barcos según un método que el resto de las potencias marítimas de Europa había dejado de lado. Debe tenerse presente que en aquel entonces los diseños no eran registrados en el papel, sino que estaban en la cabeza de los carpinteros de rivera (Burningham 1999).

La investigación previa a la realización de la réplica incluyó el análisis de diversas fuentes de información (Burningham 2001):

- i. iconografía de los barcos de la época (mediante análisis matemático y estadístico se especificaron formas y relaciones de proporción);
- ii. contratos de los constructores, que especificaban el tamaño y tipo de maderas utilizadas;
- iii. restos de barcos holandeses contemporáneos, estudiados arqueológicamente (esta evidencia fue de crucial importancia, dado la inexistencia de planos);
- iv. libros de registro y otros documentos con información sobre el desempeño de la nave; y
- v. modelado computacional del desempeño y la estabilidad del barco.

El modelo propuesto resultó tener buena estabilidad y ser capaz de mantener velocidades promedio aceptables. La réplica construida en base a este demostró que la nave original fue excepcional —en ocasiones superior a barcos de mayor porte—, capaz de navegar cerca de costas de sotavento, incluso en malas condiciones climáticas (Burningham 2001).

A la luz de las investigaciones recientes, nos enfrentamos a un panorama complejo, que se caracteriza por la existencia de variaciones dentro, así como superposiciones entre, ambos sistemas constructivos, tanto a nivel regional como a lo largo del tiempo (Martin 2011:1086). Los intentos por racionalizar una línea de

desarrollo tecnológico ha creado diversos inconvenientes, que pueden salvarse al considerar la multiplicidad de circunstancias —vale recordar, de índole social, económico, político y simbólico— que comprenden el contexto de producción de los cambios (Adams 2001:307). Como resultado de las numerosas investigaciones de barcos de diversas procedencias y períodos, se puede apreciar un creciente reconocimiento de la variabilidad asociada a los diseños y métodos de construcción naval, así como de la dificultad de intentar ajustar ciertas técnicas dentro de un sistema de categorización sencillo (Martin 2011:1088).

Una sistematización de alcance local o regional no constituye más que un esquema de carácter descriptivo, susceptible de sucesivas reelaboraciones, y cuya utilidad primordial es brindar un panorama general como punto de partida. Dentro de este contexto, la variabilidad registrada en la evidencia material tendrá que ser debidamente interpretada y no simplemente adecuada, o forzada, dentro de un estructura estática predefinida. En definitiva, el análisis de los restos de naufragios desde una perspectiva integral —que implica la articulación de diversas fuentes de información y la evaluación de múltiples variables— permitirá alcanzar una mirada más acabada de la dinámica del cambio.

El panteón secular de los inventores⁷

Recientemente, el columnista de la BBC Matt Novak expresó en su artículo *La fábula del inventor solitario* que la innovación “raramente ocurre en el aislamiento,

⁷ Utilizamos este término aquí para aludir a aquellos individuos con conocimientos fundamentalmente técnicos que estuvieron dedicados al diseño y fabricación de ingenios de diverso tipo. La palabra *invento*, del modo en que ha sido definida en el mundo hispano desde el siglo XVIII (según el *Diccionario de autoridades*, G-M, 1734, y las varias ediciones del *Diccionario de la lengua castellana compuesto por la Real Academia Española*, desde 1780) lleva aparejado el sentido de novedad sin precedentes (i.e. hallazgo o descubrimiento de algo antes desconocido) respecto del artificio en cuestión. Así, por citar una de las obras, inventar consiste en: “dificurrir ingeniofamente algun artificio ù otra cofa de nuevo. Lat. *invenire, excogitare*” (Real Academia Española 1734:301) y, por ende, inventor es “el primero que halla, inventa, ù difcurre algun arte, ciencia, machina, ò fecréto. Lat. *inventor*” (Real Academia Española 1734:302); mientras que innovar refiere a: “hacer novedad en las cofas, ò mudarlas facilmente. Lat. *novare, innovare*” (Real Academia Española 1734:275). A modo de ejemplo, esta última definición viene acompañada de un pasaje extraído de la novela de Matheo Alemán *La Vida de Guzmán de Alfarache* (part. 2. lib. 3. cap. 6.), que dice así: “los edificios y machinas de guerra, fe innovan cada día”.

sino más bien se vale de una extremadamente compleja mezcla de autores e ideas, con todos tomando algo de todos los demás” (Novak 2013). En el imaginario social, no obstante, parece haber reinado sin solución de continuidad la noción contraria. Aún hoy, las innovaciones —al menos aquellas que vinieron a modificar radicalmente el estado de cosas— son atribuidas a la deslumbrante creatividad de unos pocos, incansables artistas cuya chispa iluminó un camino que se encontraba en penumbras. Esta capacidad tiene, como en otros casos, un mito de origen. Basta con recordar el mito de Prometeo, que en un acto de magnificente generosidad otorgó a los humanos el fuego sagrado de los dioses, i.e. la técnica (Fig. 3.1).



FIGURA 3.1 – “PROMETEO TRAE EL FUEGO A LA HUMANIDAD”.

Título original, en alemán: *Erschaffung des Menschen durch Prometheus*, 1790. Óleo sobre tela del artista germano Heinrich Friedrich Füger, 1751–1818. Dimensiones de la pintura: 221,5 x 156,3 cm.

Fuente: © Liechtenstein. The Princely Collections, Vaduz–Vienna. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

La mitificación del inventor —que se consolidó a lo largo del siglo XIX— fue el resultado de la confluencia de diversas corrientes de pensamiento: por un lado, el Positivismo depositó su confianza en el progreso y, por extensión, en los nuevos protagonistas principales, los inventores; y por el otro, el Romanticismo, que hizo hincapié en la singularidad de los fenómenos y las personas. Esta situación se reforzó producto de la competencia entre las naciones europeas hacia fines de la centuria, contexto dentro del cual se escribieron historias de los grandes inventos, ocupando parte de los trabajos a definir quiénes habían sido pioneros en determinada materia (Nieto-Galan 2001:20).

La vida de los ahora reconocidos inventores y, sobre todo, de los que no alcanzaron este estatus, estuvo acompañada de celebraciones, pero también de reprobaciones e indiferencia, tanto hacia ellos como hacia sus obras. Estas actitudes, por lo general, eran vehiculizadas por medio de diferentes actores y no estaban exentas de cambio a lo largo del tiempo. Tal como sostuvo Nieto-Galan en su análisis sobre tres inventores de la España decimonónica, no puede sin más hablarse de ellos en clave de éxito o fracaso por el hecho de haber sido o no inmortalizados en la excelsa lista de las personalidades de la tecnología moderna (véase Nieto-Galan 2001). Un sinnúmero de personas no fueron ni llegarán en muchos casos a ser rescatados del anonimato en el que vivieron, pero siguen siendo parte integral de nuestra historia —¡cuántos sobreviven reflejados en las obras de aquellos ‘iluminados’!—, herederos de nuestra inigualable capacidad de invención.

El espíritu innovador y los hombros de gigantes

Ya mencionamos que existen varias ficciones que hacen referencia a los orígenes de las invenciones técnicas, en especial en el contexto de Gran Bretaña. No obstante, como vimos en el capítulo anterior, detrás de la mayoría de las innovaciones industriales existió un conocimiento sistemático. Estas fueron el resultado de múltiples ensayos y errores, así como de la conjunción de numerosas personas y logros parciales a lo largo del tiempo.

En su *Ensayo sobre el arte de navegar por debajo del agua*, Narcís (Narciso) Monturiol (1819-1885) resumió de manera elegante los dos aspectos que consideramos fundamentales, aunque no exclusivos, de las innovaciones tecnológicas: la creatividad individual (o colectiva) y la materia de partida (heredada). Refiriéndose a las personas que, como él, dedicaron su vida al desarrollo de innovaciones, dijo:

“Sus herramientas son sus *facultades intelectuales*; y las materias á que debe dar *nueva forma* y nueva vida, son las *verdades patrimonio de las generaciones pasadas* (...) todos trabajamos procurando dar otras manifestaciones á las verdades adquiridas...” (Monturiol [1891] 2001:22, la cursiva es nuestra).

Acompañaba en muchos casos a la creatividad individual una capacidad excepcional para reconocer el potencial de ciertas invenciones, aún cuando estas eran vapuleadas por otros. Ilustra de manera elegante a esto último una situación suscitada por la primera demostración pública de un ascenso en globo aerostático, llevada a cabo en Francia en junio del año 1783. Unos meses después, en respuesta a un pesimista que argumentaba “¿qué utilidad tienen los globos?”, se dice que Benjamín Franklin pronunció con perspicacia “¿de qué sirve un niño recién nacido?” (Figuier 1868:438; la traducción es personal).

Creatividad, audacia y experiencia práctica —acompañada de preparación teórica— probablemente sean, en lo que a las individualidades concierne, los aspectos más importantes de los innovadores modernos. Pero como ya señalamos, las novedades hundían sus raíces en desarrollos anteriores.⁸ En el caso particular de los nuevos artificios, nos encontramos con situaciones dispares respecto de la actitud que asumían sus autores frente a sus fuentes de inspiración. Algunos, haciendo honor a sus predecesores, reconocieron los antecedentes de sus invenciones; otros, apelando a epifanías oníricas y otras suertes de estrategias, se

⁸ Los antecedentes de ingenios de la talla de la máquina de vapor, por citar un caso emblemático del proceso de industrialización, pueden remontarse muchas décadas, e incluso siglos, antes de los tiempos de Thomas Newcomen (1663-1729) o James Watt (1736-1819), y consisten en una amplia diversidad de conocimientos teórico-prácticos (véase Figuiet 1867; Usher 1988; entre otros, para mayor información sobre el desarrollo de la máquina de vapor y sus aplicaciones en diversos campos de la industria).

proclamaron merecedores exclusivos del crédito de su novedoso ingenio. Esto último solía estar vinculado a los derechos de propiedad sobre las obras.

El espíritu innovador de muchos individuos estaba imbuido por fuertes motivaciones nacionalistas. No en vano apostaban su reputación y fortuna. Al respecto, un pasaje de la memoria titulada *Noticia de una nueva bomba de fuego*, leída en 1806 por el catalán Francesc Santponç (1756-1821) es elocuente:

“Yo espero que la sencillez y corto número de piezas con que la bomba de vapor de registro, que presento a la nación española, ejecuta sus operaciones, ha de tener un influjo decidido a favor de nuestra industria nacional; a lo menos puedo decir que éste ha sido el objeto y fin de mis desvelos” (Nieto-Galan 2001:49).

Además de los conocimientos e ingenios que servían de punto de partida para la introducción de nuevos artefactos, no hay que perder de vista que estos solían concretarse a partir de una labor conjunta, que en diversas instancias del proceso incluía a artesanos, ingenieros, académicos, empresarios y políticos. Desde sus cimientos, se trata de actos de carácter eminentemente social (Nieto-Galan 2001:112). Esta participación conjunta está estrechamente asociada a la concepción general que existía en la época que nos ocupa con relación a las innovaciones.

Muchos fueron los incentivos públicos y privados para la creación de nuevos ingenios. Por caso, en Inglaterra, la Sociedad para el Aliento de las Artes, Manufacturas y el Comercio (1754) decidió ofrecer premios a quienes dispusieran sus inventos bajo posesión común y el propio Parlamento realizó donativos por ciertas producciones novedosas. Personajes reconocidos tales como Josiah Wedgwood y Sir Humphry Davy, asumieron una posición altruista al rehusarse a proteger sus invenciones bajo la modalidad de las patentes. Por supuesto, estas tuvieron para otros un atractivo importante, dado que les permitía usufructuar sus invenciones por cierto período de tiempo. La utilización de patentes creció de forma notable a partir de 1750, tanto en bienes de capital como de consumo (véase MacLeod 1988, para más información sobre el sistema de patentes en Inglaterra). En los capítulos 6 a 8 hablaremos de aquellas relacionadas con los componentes metálicos de los barcos.

Por otro lado, los años que comprendieron los acelerados cambios en la industria estuvieron acompañados de exhibiciones —estas culminaron con las célebres exposiciones universales, que se desarrollaron a partir de la segunda mitad del siglo XIX (la primera de ellas en Londres, 1851)—, en las que se presentaban uno o varios artificios novedosos, y por lo general fascinantes, frente a un amplio número de espectadores, entre ellos ciudadanos en general y funcionarios de diferentes ámbitos⁹. Allí eran convocados para hacerlos partícipes de los importantes adelantos realizados en materia de tecnología.

Con respecto a esto último, Renfrew (1991) señaló que lo determinante no era la nueva tecnología en sí misma. En muchos casos un determinado producto estuvo disponible durante un prolongado período antes de que se generalizara su empleo. Al respecto —sostuvo— pasaron muchos siglos desde el momento en que las técnicas metalúrgicas básicas fueron exploradas y comprendidas hasta que adquirieron una relevancia productiva y económica. La innovación decisiva en el desarrollo de una mercancía nueva suele ser más de orden social y político que de carácter estrictamente técnico.

En definitiva, diremos que la tecnología debe ser considerada en su contexto social de concepción, fabricación y uso, y que los cambios fueron y seguirán siendo el resultado de acciones mancomunadas, en ocasiones con una persona a la cabeza, pero siempre sobre la base de desarrollos previos. La tecnología, en definitiva, ha sido el producto de la suma de esfuerzos anónimos, el resultado de un proceso creativo de análisis y síntesis (véase Usher 1988).

De la idea a la práctica

Una historia de múltiples caminos, intersecciones y callejones que conducen a ningún sitio, así podría caracterizarse en términos generales a los procesos de

⁹ Algunas innovaciones tuvieron especial impacto sobre el público general. Un caso emblemático es el del globo aerostático, un artilugio fascinante que desde temprano fue considerado por muchos como un instrumento con aplicaciones militares (McCloy 1952:20-23).

cambio tecnológico en época moderna.¹⁰ No hubo un plan general concebido y ejecutado. Un sinnúmero de ideas originales no han superado una instancia programática; y entre aquellos artilugios que llegaron a materializarse y ponerse a prueba, no todos fueron fabricados y utilizados extensivamente dentro del ámbito para el que fueron concebidos (e.g. industrial, militar y científico). La diversidad de aspectos que se articulan en las diferentes etapas de este proceso, a veces motivando o favoreciendo el cambio, en otras ocasiones retrasándolo o impidiéndolo, merecen especial atención a la hora de analizar cada caso. Algunos agentes están vinculados al entorno inmediato (e.g. el taller o la industria), mientras que otros forman parte de contextos más amplios (e.g. opinión pública, políticas de estado y mercado internacional). Aquí nos concentraremos en aquellos ingenios que tuvieron éxito, en tanto en cuanto lograron un estatus institucional.

En el capítulo anterior mencionamos algunos de los medios de transmisión de la información y otros recursos. A los fines de esta investigación, delinearemos aquí el proceso por el que transcurre cierta innovación tecnológica. Grosso modo, podemos distinguir tres instancias —analíticas, por cierto, pero que en buena parte se corresponden con la realidad— con características distintivas:

- i. Ideación y proyección: comprende la génesis de la idea, sea esta individual o colectiva, producto de la reflexión en torno a cierta materia —que, podría decirse, se encuentra en un determinado estado de avance— y, ocasionalmente, su formulación en términos programáticos (descripción de las características generales de un artefacto, sus partes constituyentes y funcionamiento). En el caso de las copias, corresponde a la etapa inicial de adquisición, observación sistemática y reproducción figurada del artefacto original. En esta instancia, aún es impropio hablar de un proceso de transferencia exitosa.
- ii. Experimentación (puesta a prueba): esta instancia, fundamentalmente práctica, refiere al proceso de elaboración y ensayo del artefacto ideado, que por lo general consiste en la introducción de novedades a un modelo previo, a fin de mejorarlo en algún aspecto. La primera puesta en marcha

¹⁰ Las referencias a la progresión no lineal del proceso son múltiples. En el contexto naval europeo, por caso, Neyland habló de un crecimiento y cambio tecnológico en ciclos espiralados de expansión intercalados por contracciones periódicas (Neyland 1995:138).

suele estar acompañada de sucesivas modificaciones y pruebas. Esta instancia puede o no incluir el registro de patente —exhibición pública, presentación frente a una audiencia académica o divulgación en algún medio impreso— del nuevo ingenio.

- iii. Aceptación y uso extensivo: la invención, que encontró aprobación —en razón de su utilidad con arreglo a ciertos fines— y las condiciones adecuadas, se elabora e introduce en el ámbito particular para el que fue pensada. Puede decirse que adquiere entidad industrial. Al momento de definir si una invención cualifica para ser fabricada y utilizada extensamente, ocuparán un rol importante aspectos que trascienden las características netamente técnicas (e.g. eficacia o eficiencia) del objeto. Las circunstancias económicas, políticas y sociales, entre otras cuestiones relevantes, serán responsables de que un ingenio alcance esta instancia y se convierta así en una innovación propiamente dicha.

Podríamos establecer cierto paralelismo con lo que sucede en el ámbito de la ciencia. En su libro *Experiencia y Predicción* (1938), el filósofo de la ciencia Hans Reichenbach diferenció entre el *contexto de descubrimiento y justificación*, para dar cuenta de las dos instancias que caracterizan a la labor científica: la generación y formulación de un idea sobre cierto fenómeno (hipótesis) y su validación o corroboración, respectivamente. En el caso de la ciencia de los siglos xvii y xviii, cabe destacar, no había una clara distinción entre ambos contextos. En aquel entonces, existía una estrecha relación entre los contextos de descubrimiento y justificación, en el sentido de que se creía que el método que se empleaba en la investigación y conducía a los descubrimientos era a la vez garantía de la verdad de estos últimos (Laudan 1981, citado en Bárcenas 2002:50). Klimovski hizo mención además de un tercer contexto, llamado de *aplicación*, sobre las cuestiones relativas a los usos prácticos del conocimiento científico (Klimovski 2005:30).

Retomando las instancias mencionadas, la transición desde un estado a otro no solía ser inmediata, dado que se trataba de un proceso complejo de aprendizaje que requería tiempo. Pese a que las ventajas de cierto ingenio sobre otros de uso generalizado podían ser evidentes para algunas personas, que conjeturaban sobre

el futuro, el proceso de sustitución muchas veces requirió de un lapso de tiempo considerable. Más aún, tal como destacó Nye, ninguna mente omnisciente puede asegurar que la importancia de una invención sea considerada, como así tampoco una necesidad abstracta conduce automáticamente a la creación de un nuevo ingenio (Nye 2000:4).

Con respecto a lo anterior, la persistencia de diferentes tecnologías durante un período de tiempo es un aspecto importante a ser considerado. Por citar un caso ampliamente estudiado, el reemplazo de la maquinaria basada en la energía hidráulica por aquellos equipos que utilizaban la capacidad del vapor de agua para producir trabajo mecánico, demandó un largo proceso, y su efectiva puesta en funcionamiento e introducción en la industria no fue homogénea ni simultánea en los diferentes lugares.¹¹ Asimismo, la continuidad que presentó la construcción naval en madera durante la segunda mitad del siglo XIX en Norteamérica, debido a las particulares condiciones del mercado regional, es sugerente (véase Harley 1973). En el capítulo siguiente volveremos sobre los factores de diversa índole que afectan a la tecnología naval. Peripecias técnicas aparte, reiteramos, la incorporación de una novedad dependía de que estuvieran presentes las condiciones sociales, económicas y políticas favorables. En otras palabras, las características particulares del contexto en el que iba a aplicarse condicionaba la implementación de los nuevos artificios.

El reverso de este proceso, por supuesto, es el abandono de ciertas ideas, materiales, objetos, etc. Tecnologías que en un momento alcanzaron un espacio de primera importancia, vieron su ocaso a partir del desarrollo de otras, que bajo ciertas circunstancias las reemplazaron (Fig. 3.2). Esta suerte de secuencia, en extremo esquemática, resultará de utilidad al momento de evaluar con detenimiento las innovaciones desarrolladas dentro del ámbito naval, y bien podría aplicarse al análisis de otros casos en contextos semejantes a los de este estudio.

¹¹ Muchas fueron las circunstancias desfavorables para su aplicación en la industria: la complejidad técnica de los ingenios, los problemas que ocasionaban (accidentes) y el coste de los insumos necesarios para su funcionamiento (e.g. carbón), entre las principales. Frente a estas variables, que representaban un riesgo para los empresarios, muchos de ellos prefirieron continuar utilizando las máquinas hidráulicas. El éxito alcanzado por el modelo de Watt, sin embargo, llevó a repensar seriamente varias de estas cuestiones (Nieto-Galan 2001:42).



FIGURA 3.2 – “*THE FIGHTING TEMERAIRE*”.

Óleo sobre tela realizado en 1839 por el pintor británico Joseph Mallord William Turner (1775-1851). En la obra se aprecia al *HMS Temeraire* —navío de 98 cañones de la Armada Británica, que desempeñó un rol distinguido durante la Batalla de Trafalgar, en 1805— tal como se encontraba en 1838, desarmado y siendo llevado a desguace por un pequeño remolcador a vapor. La pintura representa la obsolescencia de la vela frente a la nueva tecnología, el vapor, y marca la decadencia de un pasado glorioso. Dimensiones de la pintura: 91 x 122 cm.

Fuente: © The National Gallery, Londres. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

El rol del conflicto

Entre los principales factores que promovieron el desarrollo de innovaciones en muchos campos, se encuentra la tenaz competencia comercial e industrial que existía tanto en el ámbito local como en el internacional. Exponente clásico de esta situación fue la rivalidad entre Inglaterra, Francia y España. En cada uno de estos países, se buscó durante años desarrollar diversas mejoras técnicas con la intención de aventajar a los competidores. Las posibilidades de cada uno dependieron, a la vez, de la coyuntura nacional e internacional. Nos detendremos

en la cuestión del conflicto, dada la relevancia que tiene para el análisis de la dinámica de las innovaciones. Los comentarios que siguen están restringidos al contexto socio-histórico particular de la tesis.

Los estudios que hacen mención de la relación entre el conflicto y la tecnología, por lo general refieren a una expresión particular del primero, la más radical, i.e. la guerra. Las posiciones con respecto a las influencias de esta última sobre la tecnología son diversas. En cuanto a las favorables, podemos encontrar varias referencias acerca de las repercusiones que tuvo este fenómeno sobre sectores de la industria relacionados con fines militares, en especial vinculados con el armamento (e.g. Alcalá-Zamora 1999:73). El influjo de recursos en tiempos de guerra contribuyó al crecimiento de la producción de ciertos materiales, e.g. hierro para cañones. Los cambios en torno a algunas de estas tecnologías, a la vez, habrían tenido ciertas repercusiones en el modo de conducir la guerra. En el caso de la industria naval, Harris hizo hincapié en la importancia táctica y estratégica que cobró el aforro de cobre para la Real Armada británica con el estallido de la guerra contra los Estados Unidos de Norteamérica (Harris 1966:553). Más adelante volveremos sobre ello.

La relación entre la guerra y la labor de los científicos también resulta un asunto de interés. En su análisis sobre la relación entre los científicos e industriales franceses de la segunda mitad del siglo XVIII, Gillispie afirmó que el inicio de las Guerras Revolucionarias generó un incentivo práctico sin igual para la aplicación de la ciencia a la producción: “la ciencia fue movilizada en defensa de la República” (Gillispie 1957:406). El caso de las campanas de bronce es ilustrativo. En la última parte del siglo XVIII, las propiedades eclesiásticas fueron apropiadas por el gobierno y las campanas de las iglesias fueron vistas como un recurso valioso debido a la escasez de numerario. El problema era que tenían un elevado contenido de estaño (20-25 %). Para determinar la proporción de cobre que podía recuperarse, a principios de la década de 1790 se realizaron varios análisis cuantitativos. Mientras tanto, Bertrand Pelletier (1761-1797) y Jean Darcet (1724-1801) desarrollaron para el Comité de Salud Pública (Comité du Salut Public) un procedimiento para separar el cobre del estaño, que consistía en oxidar este último utilizando dióxido de manganeso. Otros investigadores como Fourcroy, Janety y Dizé también se ocuparon de este asunto. El éxito de estas experimentaciones llevó al Comité en

1793 a ordenar que se refundieran todas las campanas disponibles para fabricar cañones (Smeaton 1997; Pollard 2013). De nuevo, una muestra de la urgencia por contar con una mayor cantidad de recursos materiales aptos para la guerra. Las consecuencias que tuvieron los desafíos impuestos por la guerra sobre actividades científicas puntuales, como la que acabamos de comentar, en ningún modo deben considerarse extensivas al campo en su totalidad.

Los conflictos armados no afectaron por igual a todos los ámbitos de la industria y de la ciencia. En numerosas ocasiones, las repercusiones de la guerra fueron desfavorables. De hecho, algunos consideran que los retardos experimentados en materia de industrialización por el continente europeo estuvieron relacionados con los continuos enfrentamientos entre estados y disturbios civiles internos (e.g. Hartwell 1957:168; Bradley 2010:87). En el caso de España: “la guerra había frenado buena parte del dinamismo industrial de las últimas décadas del siglo XVIII, y ante la emergencia bélica las escuelas de la Junta de Comercio (...) fueron cerradas” (Nieto-Galan 2001:56). Los efectos negativos de la guerra se extendieron más allá de la esfera industrial y alcanzaron a múltiples sectores de la sociedad. No es necesario extendernos más sobre esta cuestión, hartamente conocida. En consonancia con esta segunda perspectiva, algunos han afirmado que la mayor parte de las innovaciones ocurrieron durante tiempos de paz, supuestamente de mayor estabilidad en varios órdenes.¹² Frente a quienes sostienen que la guerra es el motor de los avances técnicos, Ashton resaltó que los años en que hubo una suba en el número de patentes entre mediados del siglo XVIII y principios del XIX en Inglaterra coincidieron con los períodos de paz (Ashton 1996:109).

No es difícil imaginar que los momentos de calma fueron un ambiente próspero para el desarrollo de ciertas industrias, en particular civiles; en tal caso, lo contrario puede decirse de los materiales estrechamente ligados con el quehacer de la guerra. Planteos de esta índole, claramente opuestos entre sí, comparten los

¹² Aunque yace por fuera del período considerado, el trabajo de Nef (1942) es un excelente análisis sobre cómo un siglo de guerras ininterrumpidas en el continente europeo entre 1540 y 1640 afectó de modo diferente al desarrollo de una temprana revolución industrial en Inglaterra alrededor del período 1570-1620. Aunque —señaló— la guerra contribuyó en alguna medida al progreso del capitalismo industrial de la época, los avances científicos y tecnológicos, así como el crecimiento de las empresas a gran escala (e.g. minería y metalurgia) que tuvieron lugar en aquel estado insular, fueron posibles dadas las condiciones de prosperidad durante tantos años de paz.

mismos problemas: 1) refieren a la tecnología (o la técnica) como un todo, por extrapolación de lo que sucede en sectores específicos, que no se ven igualmente influidos; en este sentido, son homogeneizadores; y 2) parten de una rígida distinción entre períodos de guerra y de paz; una demarcación factible en términos analíticos, que no permite apreciar el *continuum* que en realidad existió en varias dimensiones. No negamos que establecer una separación de esta índole pueda ser de utilidad para evaluar consecuencias diferenciales, pero es infructuoso entenderlas como instancias excluyentes. A lo menos, impide apreciar la complejidad del asunto, sobre todo en años signados por reiterados enfrentamientos.

La guerra no fue exclusiva de los estados soberanos modernos. Pero, siguiendo a Howard (1987), con estas potencias del mundo europeo adquirió un sentido particular. Ante todo, nos encontramos ante un fenómeno que está presente como posibilidad, toda vez que los estados adquieren identidad propia mediante las relaciones que establecen entre sí y suelen hacer uso de la fuerza para delimitar sus fronteras y evitar la coacción que otros puedan ejercer sobre ellos. En este sentido, la guerra forma parte integral —y en buena medida depende— de los propósitos políticos internacionales.¹³ Para este autor, existe algo que distingue a la guerra de otros tipos de conflictos sociales. Desde el momento en que los estados se convirtieron en los mecanismos de mantenimiento del orden y la seguridad mediante la coacción organizada y legitimada, fueron a la guerra con el fin de “adquirir, aumentar o conservar su capacidad para obrar como actores independientes en el sistema internacional” (Howard 1987:36). En estas circunstancias, y frente a la amenaza que supone el crecimiento del poderío de posibles adversarios, la política de fortalecimiento militar fue usual entre los estados que buscaron evitar que el propio se viera limitado o extinguido, cuando no extenderlo más allá de su estado corriente (Howard 1987:41). Esta política, ¿no es acaso parte de una compleja dinámica de conflicto, que trasvasa las fronteras entre la guerra y la paz? Creemos, pues, que para analizar la relación entre el conflicto y los cambios tecnológicos en sus justos términos, es necesario superar esos límites, desde luego sin perder de vista sus particularidades en materia social,

¹³ Esta estrecha vinculación entre la guerra y la política, fue señalada originalmente por Carl von Clausewitz (1780-1831). En su obra *De la guerra*, definió a la guerra como un instrumento político, como una realización de la política por otros medios (véase Clausewitz 1909).

económica, política, etc. En el caso de la tecnología bélica, puede resultar de interés evaluar el modo en que fue estimulada en respuesta a la guerra, a la preparación para la guerra o a circunstancias diferentes, teniendo en consideración las decisiones adoptadas en cada circunstancia por los representantes de los estados y otros actores. En este sentido, cobran interés las consideraciones acerca de la dimensión política del diseño de la tecnología (véase Pfaffenberger 1992).

La relación entre la industria bélica y civil también reviste especial interés en la época que nos ocupa. Trebilcock destacó tiempo atrás que la mayoría de los estudios históricos abocados a analizar esta vinculación (la transferencia de innovaciones desde el ámbito militar o *spin-off*, en inglés), priorizaron una perspectiva cuantitativa. En otras palabras, se enfocaron en los efectos de la demanda para la guerra en tiempos de guerra. Este autor planteó una alternativa interesante al proponer tornar la vista hacia los posibles efectos cualitativos de la preparación para la guerra. Mencionó que durante los enfrentamientos más importantes de la segunda mitad del siglo XVIII —que coincidieron con las primeras etapas de industrialización en Gran Bretaña— existieron unas pocas instancias iniciales de transferencia tecnológica del rubro armamentístico a las industrias civiles. Los casos más emblemáticos son los del hierro pudelado y la máquina de vapor de Watt, que tuvieron serias implicaciones sobre el surgimiento de la industria moderna a gran escala. Estos están estrechamente relacionados con la producción de artillería: Henry Cort comenzó sus experimentaciones a fin de mejorar el hierro de los cañones, mientras que la máquina desarrollada por John Wilkinson para perforar estas piezas hizo de la invención de Watt una máquina efectiva. Sin embargo, notó Trebilcock, estos fueron casos únicos, y los efectos de la transferencia de un rubro al otro no fueron sistemáticos sino hasta las últimas décadas del siglo XIX (Trebilcock 1969). Es probable, de acuerdo con lo anterior, que las innovaciones en armamento no hayan tenido un peso significativo para el sistema económico durante el siglo XVIII. No obstante, durante esta primera etapa no sólo es posible reconocer varias instancias de transferencia entre los distintos ámbitos (e.g. entre los barcos de guerra y los mercantes); además, dentro del contexto bélico naval podemos apreciar los primeros esbozos de tres aspectos que

fueron fundamentales en el desarrollo de la industrial civil contemporánea: la mecanización, la producción en masa y las partes intercambiables.¹⁴

Tendremos en cuenta las consecuencias del ejercicio del poder sobre el desarrollo de la tecnología desde una posición no esencialista.¹⁵ Al respecto, tal como llamó la atención tempranamente Nef, la guerra no puede ser considerada como un factor independiente, sino que ella misma es fruto de un gran número de otros aspectos sociales (Nef 1942:36). En este sentido, cobrarán un lugar importante los estudios sobre la construcción social de la tecnología, a los que ya hicimos referencia en la primera parte de este capítulo.

Las ciencias y las artes mecánicas¹⁶

Prevalece la idea de que la ciencia contribuyó escasamente a los profundos cambios que caracterizaron los inicios del proceso de industrialización británica. Hobsbawm sostuvo que esta etapa fue llevada adelante básicamente con “pocos refinamientos intelectuales” (Hobsbawm 2006:37).¹⁷ Otros autores fueron más terminantes. Marks, por caso, afirmó que “la industrialización de Inglaterra fue un proceso contingente a toda una serie de factores, pero la revolución científica no

¹⁴ El concepto de piezas intercambiables data de la última parte del siglo XVIII. En 1785, Thomas Jefferson, que en aquel entonces era ministro en Francia, remitió un informe a su país en el que llamó la atención sobre la producción de mosquetes en el taller de un armero francés. Tal era la regularidad con que se fabricaban —decía— que las partes de un ejemplar podían ser utilizadas en cualquier otro mosquete del depósito (Babini 1971:139).

¹⁵ Existen varias formas de esencialismo, que pueden resumirse en las siguientes posiciones: la tecnología es inherentemente buena, mala, neutral o inevitable. Esta última tiene que ver con la idea de que la tecnología tiene una lógica de desarrollo propia, i.e. determinismo tecnológico (véase Martin 2001; para el caso de la tecnología bélica contemporánea).

¹⁶ En el siglo XVIII se entendía por artes mecánicas a aquellas que requerían de una operación manual para ser ejecutadas, e incluían a los oficios y a las manufacturas. El conocimiento especulativo y el conocimiento propio de las artes liberales fueron considerados por varios contemporáneos como superiores al de las artes mecánicas. Para hacer justicia a estas últimas, d’Alembert sostuvo que “...la ventaja que tienen las artes liberales sobre las mecánicas, por el trabajo que las primeras exigen del espíritu [pensamiento] y por la dificultad de distinguirse en ellas, queda suficientemente compensada por la utilidad muy superior que las últimas procuran para la mayoría (...) la sociedad, que respeta con justicia a los grandes genios que la iluminan, no debe envilecer las manos que la sirven” (d’Alembert [1759] 1984:55-56).

¹⁷ Este autor también reconoció que los industriales supieron aprovechar rápidamente los conocimientos aplicados de los científicos y, más aún, que basaron sus métodos de producción en un “racionalismo riguroso”, que era característico de los segundos (Hobsbawm 1977:58).

fue uno de ellos” (Marks 2007:168). Es cierto que la tecnología empleada en la mayor parte de los rubros que en su conjunto dieron lugar a la industrialización durante la segunda mitad del siglo XVIII fue relativamente sencilla. Asimismo, la mayoría de las teorías explicativas sobre diversos fenómenos (comportamiento de los materiales, funcionamiento de aparatos, etc.) fueron posteriores a las propias innovaciones (e.g. la termodinámica no fue necesaria para el desarrollo de la máquina de vapor).

Analizar la cuestión en función de si la aplicación de ciertas investigaciones redundó en un incremento significativo de tal o cual rama de la industria (recordemos que fueron pocas las que impactaron hondamente en el desarrollo de la economía industrial de Gran Bretaña), impide dar cuenta de la complejidad del asunto. La situación se enreda aún más si tenemos en cuenta que debió transcurrir bastante tiempo para que fuera posible apreciar de modo patente (en casos concretos, con un impacto considerable) el rol que la ciencia ocupó sobre el desarrollo de la técnica. Además, a la sombra de los afamados logros del siglo XIX quedaron las experiencias pretéritas. Pero lo que en aquel entonces se vio no fue sino consecuencia de un largo camino que tuvo muy importantes arquitectos durante momentos anteriores (véase Ducassé 1973:127-132).

En alguna medida, se trata de un problema de apreciación que hunde sus raíces en los propios contemporáneos de quienes cayeron en el olvido; no sólo de parte del vulgo, sino también de los facultados en la materia. Acerca de esto hizo referencia el académico español Vicente de los Ríos cuando afirmó:

“Luego que una Facultad se ha perfeccionado, sus Profesores no tienen por lo regular noticia de los primeros Escritores, que la ilustraron; y quando los lleguen á conocer, no aprecian sus escritos como deben: porque ignorando la historia particular de aquella Facultad, equivocan, por falta de este preciso conocimiento, el merito de los referidos Autores, con la estimacion que sus Obras logran en el dia; sin hacerse cargo, que los escritos de hombres muy celebres suelen ser de poca utilidad, despues que con la sucesion de tiempo, y trabajo llega su Facultad al estado de perfeccion, que pueden darle los hombres (...) Por esta razon, para conocer el verdadero merito de un Autor facultativo, se debe tener presente la edad en que escribió, y lo que en ella se sabia de su Facultad, midiendo el legitimo valor de sus Obras por el que tuvieron las de sus contemporaneos, y no por el de otras de Escritores mas modernos...” (de los Ríos 1767:11,12).

¡Cuánta vigencia tienen estas palabras para entender los méritos de los actores del pasado! Tanto las personas de ciencia como las vinculadas a las artes mecánicas fueron herederas de una misma tradición filosófica. Allí puede estar la clave para comprender mejor la relación que de hecho existió tempranamente entre ellas.

A partir del siglo xvii surgió en Europa occidental una filosofía propiamente moderna. Fue una época de florecimiento científico, que se reflejó en la fundación de una importante cantidad de instituciones académicas (véase Saldivia 2007). La Real Sociedad de Londres (Royal Society of London for Improving Natural Knowledge, o simplemente Royal Society) y la Academia de Ciencias de París (Académie des Sciences), inauguradas en la década de 1660 con reconocimiento y apoyo gubernamental, fueron especialmente influyentes (McCloy 1952:2). El énfasis puesto por insignes pensadores (e.g. Francis Bacon, que criticó duramente la filosofía aristotélica) en el conocimiento de las leyes de la naturaleza y su transformación por intermedio de las artes mecánicas, marcaron profundamente los siglos venideros. El propio René Descartes expresó en el *Discurso del Método* (1637) su creencia en la eficacia práctica de la filosofía natural (ciencia) para el dominio de aquella. Desde entonces, las ciencias experimentales se convirtieron en el nexo entre los conocimientos teóricos y aplicados (Ducassé 1973:87-92).

El siglo xviii estuvo marcado por un orden compartido: el espíritu práctico, que en los pensadores de la época se tradujo en la búsqueda de aquellas cosas concretas que mejoraran la condición humana (véase Ducassé 1973). En particular, Ashton resaltó la importancia de la corriente de pensamiento británico nacida de las enseñanzas de Bacon y seguida por las propuestas de Robert Boyle y Sir Isaac Newton, para el proceso de industrialización: “la confianza en el progreso industrial a través de métodos experimentales y de observación, se debió en gran parte a él [Newton]” (Ashton 1996:23,24).

Quienes se ocupaban de las artes mecánicas, de las invenciones técnicas, seguían una metodología afín a la que empleaban los propios científicos. Muchos de los desarrollos tecnológicos alcanzados fueron consecuentes con —más importante aún, estuvieron basados en— el conocimiento científico y los conceptos de su tiempo (McCloy 1952:2). Pero esta relación, no tuvo que ver con la aplicación consciente de las últimas teorías de los diferentes campos del conocimiento en los que tanto se había avanzado desde el siglo xvii. Lo anterior

cobra sentido si entendemos que la principal contribución de esta última fue la socialización de su método: la racionalización y experimentación sistemática. Estos aspectos les dieron solidez y fundamento a las labores de quienes formaron las filas de uno y otro campo. Y pese a la disparidad de intereses que pudo haber existido entre ellos, científicos y reconocidos técnicos (artesanos, maquinistas, etc.) e industriales, compartieron estas premisas a la hora de llevar a cabo sus trabajos.

Muchos de ellos encontraron un espacio propicio en las escuelas superiores y técnicas que abrieron durante la segunda mitad del siglo XVIII. Estas dieron expresión a las fuertes manifestaciones de los *philosophes*¹⁸ y otros, sobre la necesidad de orientar la educación en torno a estudios de carácter aplicado (McCloy 1952:5,6). En Inglaterra, surgieron instituciones tales como la Real Sociedad para el fomento de las Artes, Manufacturas y Comercio (1754) en Londres, la Sociedad Lunar de Birmingham (1765) y la Sociedad Literaria y Filosófica de Manchester (1781). El lema de esta última era y sigue siendo *KNOWLEDGE IS POWER* (el conocimiento es poder). De allí surgirían muchas de las personas que promovieron importantes avances científicos e industriales.¹⁹ Muchos científicos estuvieron en contacto directo con los líderes de la industria británica. La cantidad de nombres de industriales que figuran como miembros de la Real Sociedad de Londres es prueba de ello (Ashton 1996:24). En Francia, cabe destacar la creación del Conservatorio Nacional de Artes y Oficios (1794) en París, destinado a la investigación de las artes mecánicas y a la transmisión de los oficios. También allí, en esta misma época, se inaugura la Escuela Politécnica (1794), cuyo lema desde entonces ha sido *POUR LA PATRIE, LES SCIENCES ET LA GLOIRE* (por la patria, las ciencias y la gloria) (Jacomy 1992:241-243; Ashton 1996:29,30; Hobsbawm 2006:28,283). La

¹⁸ Para estos ilustrados del siglo XVIII, el pensamiento tenía el rol práctico de criticar a las instituciones existentes, con la meta de reemplazarlas por un nuevo orden. Los pilares fundamentales de estos pensadores fueron la observación y la razón. Esta no era considerada del mismo modo que en el siglo XVII —como la suma total de las ideas innatas, anteriores a toda experiencia y reveladora absoluta de la esencia de las cosas—, sino como una adquisición que guía el descubrimiento y la determinación de la verdad, mediante la observación de la naturaleza. En otras palabras, los esfuerzos de los *philosophes* estuvieron puestos en la articulación de las dos tendencias filosóficas del siglo XVII: el racionalismo de Descartes, Spinoza y Leibniz, el empirismo de Locke, Galileo y Bacon, entre otros. De este modo, surgió el método científico, orientado a ofrecer una explicación de los hechos observados, que permitiera guiar a los observadores en la búsqueda de otros fenómenos (Zeitlin 1982).

¹⁹ Las ansias por el conocimiento y sus aplicaciones prácticas también provenían de universidades, como las de Glasgow y Edimburgo (Escocia). Muchos de los estudiantes que asistieron a estos centros se desempeñaron luego dentro de la industria (Ashton 1996:28).

lectura y traducción de obras extranjeras (libros y artículos), así como el aprendizaje en instituciones especializadas (e.g. universidades, academias y escuelas técnicas) de diferentes regiones, fue habitual entre quienes se abocaron a la investigación y las invenciones.²⁰ El inventor catalán Francesc Santponç, para citar un caso que ilustra las dimensiones que alcanzaba por entonces el circuito de información, se instruyó acerca de los desarrollos industriales británicos de la época por intermedio de la bibliografía francesa de referencia (Nieto-Galan 2001:45).²¹ Los medios de aprendizaje fueron diversos. Pese a ello, tal como destacó Babini con relación a los ingenieros británicos y franceses, ambos compartieron una formación básica de tipo científica (Babini 1971:149).

Francia aventajó a Gran Bretaña en campos tales como la Matemática, la Física y la Química —este escenario se vio acentuado con la revolución de 1789— (Seignobos y Metin 1962:203,204; Hobsbawm 2006:285,286). Las personas ligadas al espíritu práctico, sin embargo, no se encontraban entre la mayoría.²² Aún así, las contribuciones de hombres de la talla de Vaucanson y Diderot fueron de suma importancia. Basta con citar a la Enciclopedia francesa (*L'Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*), editada por Diderot y d'Alembert y publicada en varios tomos entre 1751 y 1772, obra que ordenó y expuso los conocimientos científicos y prácticos de la época y los puso al alcance

²⁰ Con relación a las últimas, para llevar a la práctica las ideas sobre un nuevo ingenio, se requería del trabajo mancomunado de personas especializadas en diferentes oficios. En palabras de Nieto-Galán: “esa cultura de los libros y las revistas (...) debía complementarse necesariamente con el *savoir faire* de los artesanos, y ese era el gran reto” (Nieto-Galan 2001:47).

²¹ En ciertos casos, la preeminencia de los textos extranjeros sobre las producciones nacionales fue considerada como un síntoma del atraso científico y la posición subalterna que ocupaba el propio pueblo respecto de otros países. En el caso de los españoles ilustrados de fines del siglo XVIII, cuya formación estuvo fuertemente influenciada por las investigaciones francesas, algunos alzaron la voz para denunciar las condiciones en las que se encontraban los españoles y proponer planes de acción a fin de remediar el asunto (Nieto-Galan 2001:56).

²² Francia fue más reticente que Gran Bretaña a abrir las puertas de la Academia de Ciencias a las artes mecánicas. Vaucanson se quejó de esta situación en 1746, luego de ser aceptado dentro de esta última, diciendo que “Quien inventó la rueca para hilar lana o lino sería considerado sólo un artista por los académicos de hoy (...) Sin embargo habría con qué humillar a estos señores con la simple reflexión de que ese solo mecánico procuró mayor bienestar a los hombres que todos los geómetras y físicos que lo acompañaron” (Jacomy 1992:234). Aunque uno de los objetivos principales de la Academia era evaluar proyectos para la mejora de la industria, ocupaban un orden de consideración más bajo. Lavoisier afirmó que los científicos estaban motivados por el amor a la ciencia, mientras que el espíritu que guiaba a los artesanos era la búsqueda de rédito económico (Gillispie 1957:402,403).

de la sociedad (Jacomy 1992:228-243).²³ En la introducción a la obra, d'Alembert sostuvo: "A poco que se haya reflexionado sobre la relación que los descubrimientos tienen entre ellos, es fácil advertir que las ciencias y las artes se prestan mutuamente ayuda, y que hay por consiguiente una cadena que las une" (d'Alembert [1751] 1984:30). A esta conciencia práctica adhirieron otros investigadores, cuyas aportaciones se convirtieron en obras de referencia.

No podemos dejar de mencionar al hombre de ciencias e Inspector General de la Marina, Henri-Louis Duhamel du Monceau (1700-1782), entre cuyas obras sobre construcción naval destacan el *Traité de la fabrique des manoeuvres pour les vaisseaux, ou l'art de la corderie perfectionné* (1747) y el estudio *Éléments de l'architecture navale, ou traité pratique de la construction des vaisseaux* (1758). Con relación a la metalurgia, el trabajo del científico francés René Antoine Ferchault de Réaumur hizo eco en los especialistas de la época. Entre 1720 y 1722 presentó ante la Académie Royale des Sciences de París diez memorias sobre sus observaciones en metalurgia, que fueron reunidas y publicadas en dos partes bajo el título *L'Art de convertir le fer forgé en acier et L'art d'adoucir le fer fondu ou de faire des ouvrages de fer fondu aussi finis que le fer forgé* (Réaumur 1722). En estas memorias, Réaumur explicó el proceso de cementación (tratamiento termoquímico mediante el que se aporta carbono, por difusión, al hierro forjado en estado sólido) y la descarburación de la fundición de hierro, para la obtención de un producto maleable con bajo contenido de carbono (Ducassé 1973:95). Muchas obras de esta clase redundaron en la descripción y clasificación razonada de las industrias disponibles. Y allí es donde reside una de las principales contribuciones de la ciencia (los científicos) de la época al proceso de industriaización (véase Gillispie 1957, para el caso de Francia).

En el seno de las academias e industria navales también hubo varios intentos por aunar diferentes conocimientos en pos de una meta determinada, en función del reconocido potencial asociado al trabajo colaborativo. La arquitectura naval yace entre las artes que se vieron fuertemente beneficiadas por la aplicación de la Matemática, por ejemplo. Los beneficios de esta última con relación a la práctica

²³ La Enciclopedia francesa representó un extraordinario informe acerca de las artes mecánicas disponibles por aquel entonces. En esta obra se expuso una importante cantidad de conocimientos, prácticas y materiales que se remontan al siglo XVII. Por tal motivo, es cuestionable que la obra haya oficiado como motor de los avances técnicos de la época (Jacomy 1992:228).

del diseño y la construcción, como así también al conocimiento y manejo de los barcos, habían sido reconocidos tiempo atrás. Los primeros tratados dedicados al tema datan del siglo xvii. En este campo, como en otros tantos, destacaron los franceses, aunque algunas de las contribuciones más reputadas fueron obra de científicos de otras nacionalidades (e.g. Jorge Juan y Leonhard P. Euler). La obra de Euler, en particular, tuvo un fuerte impacto durante la segunda mitad del siglo xviii. Su interés por la aplicación de los conocimientos en matemática a la navegación data desde los inicios de su prolífica carrera como investigador. En el año 1727 fue premiado por la Académie Royale des Sciences de París por su contribución al estudio de la resistencia de un cuerpo en el seno de un fluido, que posibilitó mejorar la ubicación de los mástiles en un barco. En 1749 aparecieron los dos volúmenes de su obra *Scientia Navalis*, en los que estableció los principios de la hidrostática y aplicó al estudio de la estabilidad de los barcos. Euler recogió los aspectos fundamentales de esta obra en una versión sintética, que fue publicada en 1773 bajo el título *Théorie complète de la construction et de la manoeuvre des vaisseaux mise à la portée de ceux qui s'appliquent à la navigation*, para ser utilizada como material didáctico en el ámbito de las academias navales. Este manual alcanzó amplia difusión en Europa, en parte gracias a que fue traducido a diferentes idiomas al poco tiempo de su primera edición; al inglés en 1776 y al castellano, en 1782 (esta última nunca llegó a publicarse). El trabajo de Juan, de quien hablamos en el capítulo anterior, también sería traducido unos años más tarde al francés, por el matemático Pierre Lévêque, que enfatizó la peculiar capacidad de Juan para articular sus conocimientos científicos y su extensa experiencia en navegación. La práctica, para ambos, era crucial a la hora de evaluar los aportes teóricos a la construcción y manejo de los barcos (Baig i Aleu 2008). Volveremos sobre este asunto de la articulación de la teoría y la práctica en varias oportunidades a lo largo de la tesis.



Capítulo 4

ARQUEOLOGÍA MARÍTIMA, ARQUEOMETALURGIA y NAUFRAGIOS HISTÓRICOS

LAS SOCIEDADES Y SU ENTORNO ACUÁTICO: UNA MIRADA DESDE
LA ARQUEOLOGÍA

Delimitación del campo de conocimiento

Consideraciones terminológicas y semánticas

La investigación de naufragios se enmarca en líneas generales dentro de cualquiera de las siguientes especialidades: Arqueología subacuática, marina (o submarina), naval (o náutica) y marítima. Tal como los respectivos rótulos lo sugieren, todas ellas guardan íntima relación entre sí, aunque también se diferencian a distintos niveles. Originalmente, el término más utilizado para referirse a los trabajos de investigación arqueológica —pero también de legislación, conservación, gestión y divulgación— con materiales que yacen bajo el agua fue el primero de ellos, en

especial dentro del ámbito anglo e hispano-parlante.¹ En el caso de los sitios hallados en ambientes marítimos, que por cierto destacan en número, también se englobaron dentro del segundo campo. A lo largo de la consolidación y ulterior devenir de la especialidad, se fueron acuñando las diferentes denominaciones que listamos arriba; en parte, como resultado de una mayor precisión teórico-metodológica; en parte, como consecuencia de una mayor circunscripción del campo y preferencias en torno a ciertos temas.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos decir que *Arqueología subacuática* refiere a una designación de corte metodológico. Es la especialidad que se ocupa de los sitios arqueológicos que yacen en un entorno acuático, bien sea marítimo, fluvial o lacustre, sobre el lecho o bajo el sedimento, independientemente de que los restos materiales constituyan o no expresión de actividades culturales vinculadas a los respectivos ambientes. En el caso de la *Arqueología marina*, la situación es de un cariz diferente, dado que el foco sí está puesto en aquellas evidencias producto de la acción del ser humano en un ambiente particular, i.e. marítimo, que se encuentran sumergidas. La *Arqueología naval* —o náutica, término utilizado la mayor parte de las veces para hacer alusión a este campo— está dedicada al estudio de los barcos, fundamentalmente pero no de modo exclusivo desde la óptica del diseño, la construcción y la navegación.² Aquí el acento está puesto en la problemática de análisis y no en el ambiente depositario de los restos. De hecho, las investigaciones suelen valerse de diversas fuentes de información que, en el caso de aquellas de naturaleza arqueológica, también proceden de sitios en tierra (véase Jasinski 1999:3; Flatman y Staniforth 2006:168; entre otros, para una discusión acerca de los alcances de cada especialidad).

En el caso particular de la arqueología marítima, la primera delimitación del campo fue dada por Keith Muckelroy, de la Universidad de Cambridge (Reino Unido) en su libro *Maritime Archaeology* (véase más abajo). Allí estableció que esta versa sobre “el estudio científico de los restos materiales del hombre y su actividad

¹ Esta denominación de la especialidad —que hasta el día de hoy se encuentra en plena vigencia— probablemente sea la más conocida a nivel internacional, tanto dentro del ámbito académico como por el público general.

² En el caso particular en que los naufragios constituyen la fuente primaria de información arqueológica, también puede hablarse de Arqueología de naufragios. Esta denominación, tan restrictiva, tuvo un alcance muy limitado.

en el mar”, y agregó que “es sólo en el mar donde ocurren los desastres marítimos, por lo que es bajo la superficie del mar donde debe yacer la mayor parte de la evidencia” (Muckelroy 1978:9; la traducción es personal). Desde una posición crítica, Jasinski notó que esta noción adolecía de la falta de una perspectiva humanística y se concentraba casi de forma exclusiva en las evidencias materiales localizadas bajo el agua; en rigor, hacía referencia a la Arqueología marina. Unos años adelante, según este autor, Sean McGrail fue un poco más allá de la definición de Muckelroy, ya que extendió el campo de acción de la especialidad al considerar relevantes a otros ambientes acuáticos (e.g. ríos y lagos) y a las evidencias que se encuentran en entornos emergidos. No obstante, al mismo tiempo se enfocó principalmente en aspectos relativos a los barcos (cualquiera sea su tipo), es decir en lo que podríamos denominar como arqueología náutica (Jasinski 1999:7,8).

Este último autor hizo hincapié en la relación de continuidad entre tierra-agua y por ende en la necesidad de integrar diversas fuentes de información sobre las actividades marítimas pasadas —no exclusivamente náuticas— que se encuentran tanto en tierra como sumergidas.³ Fue incluso más lejos al proponer considerar además los aspectos simbólicos y cognitivos que operan detrás de las prácticas sociales. Jasinski resumió su perspectiva de la siguiente manera:

- i. “La investigación en arqueología marítima se ocupa de todos los aspectos de las relaciones humanas y su vínculo con el mar.
- ii. Estos abarcan elementos tecno-prácticos, es decir, la utilización del mar y sus recursos, así como los sistemas cognitivos y mentales tales como la ideología, la organización social, el lenguaje, etc., que están relacionados con el mar.

³ Las actividades marítimas, específicamente navales, poseen un carácter dual. Estas se encuentran típicamente orientadas a un medio y quehacer específicos, i.e. el mar, u otro ambiente acuático, y la navegación, cualquiera sea su fin. Al mismo tiempo, sin embargo, sostienen una relación umbilical con la sociedad emplazada en tierra. Los barcos, en definitiva, no constituyen sino una manifestación particular —no especular, sino con características especiales— de un sistema social, económico, político y simbólico más amplio. Según Adams, los cuerpos de agua constituyen una paradoja cultural y natural: estos suelen considerarse, incluso en la actualidad, como una barrera física; no obstante, han sido medios de comunicación entre sociedades durante mucho tiempo (Adams 2001:292). Son de particular importancia los ámbitos costeros asociados a las naves (e.g. puertos y astilleros) ya que es en la interfase entre la tierra y el mar (*sensu* Martin 2011:1091) donde convergen los aspectos navales y de la sociedad que les brinda un marco de acción.

- iii. La evidencia utilizada para los estudios arqueológicos marítimos puede ser de carácter tanto material como no material, y puede estar presente en el fondo del mar, en la costa y en tierra” (Jasinski 1999:11; la traducción y el desglose son personales).

Más recientemente, Flatman y Staniforth consideraron objeto de estudio de la especialidad a las interacciones humanas con los mares, ríos y lagos en el pasado. Su propuesta comprende una amplia diversidad de sitios, que no se restringen sólo a aquellos que en su origen estuvieron relacionados directamente con la navegación o los entornos acuáticos. Tienen en cuenta la amplia diversidad de barcos y, en tiempos recientes de la historia, también a las aeronaves; los restos humanos y objetos que se encuentran dentro de este tipo de sitios, así como aquellos artefactos depositados accidental o intencionalmente en un cuerpo de agua; las estructuras construidas entera o de parcialmente bajo el agua (e.g. puentes, muelles y embarcaderos) y aún los rastros físicos de actividades que originalmente fueron desarrolladas en tierra y luego quedaron inundados. Consideran además los sitios terrestres, que no se encuentran sumergidos, pero que están relacionados con las actividades marítimas (e.g. faros, construcciones portuarias y campamentos costeros) y los paisajes litorales, ribereños y lacustres. Para estos autores, en definitiva, “la arqueología marítima incluye los campos superponibles de la arqueología subacuática, arqueología marina y arqueología náutica” (Flatman y Staniforth 2006:168; la traducción es personal).

Esta extensa proposición, que podría considerarse *a priori* como la definición más cabal, dado que parece agotar por completo la materia de la que se ocupa la especialidad, también deja entrever qué tan difusos son en realidad sus límites. Algunos investigadores estarán de acuerdo con este listado, e incluso podrán aportar algún otro caso en función de su experiencia, mientras que otros tendrán algunas objeciones que hacer al respecto. Precisar si los restos de un avión de combate derribado en el mar durante la segunda guerra mundial o una ciudad de época colonial edificada a la vera de un río son objeto de estudio de la Arqueología marítima —por el solo hecho de encontrarse hoy en día sumergidos— o si deberían serlo de la Arqueología subacuática, o incluso de otro campo de

conocimiento afín a estos últimos, puede resultar en una discusión estimulante, pero a la vez un tanto estéril.

Es evidente que las fronteras que definen a estas y otras especialidades son más permeables y dinámicas que fijas. Ahora bien, probablemente la diferencia más notable entre Arqueología subacuática y marítima sea que se ha entendido a esta última en razón de un área temática de investigación y no del ambiente en el que se encuentran los materiales estudiados (Catsambis et al. 2011:xiv). Esta es, a nuestro entender, la principal fortaleza en lo que a la delimitación del campo concierne. Sin embargo, la Arqueología marítima no parece representar una instancia superadora, i.e. no es una especialidad que incluye a las anteriores y a otros casos que no fueron previamente contemplados. En este sentido, acordamos con Bass en que muchos sitios que se encuentran bajo el agua no atañen a la Arqueología marítima (Bass 2011:3).

A fin de optar por uno u otro campo, habrá que plantearse entonces qué caracteriza a una fuente de información como materia exclusiva o primordial de la especialidad, y cuál sería la contribución teórico-metodológica de esta última. Si analizamos el caso de la aeronave que mencionamos, desde un punto de vista netamente metodológico no cabría duda al decir que su estudio atañe en primer término a la Arqueología subacuática; mientras que desde una perspectiva temática habría que considerar que el vínculo más estrecho seguramente lo mantiene con la Arqueología de la guerra, militar o del conflicto. En definitiva, se trata de campos que exhiben algunos solapamientos, pero que a su vez mantienen sus particularidades. Además de entender su implementación dentro del contexto histórico de producción de significado, muchas veces la adscripción a uno u otro descansa en cuestiones de índole operativa (e.g. hacer hincapié en determinadas cuestiones, de cara a la investigación, legislación, conservación, etc.).

Estrictamente hablando, podríamos ubicar la presente investigación dentro de la Arqueología naval (o de naufragios). No obstante, esta demarcación resulta un tanto limitante, dado que confinaría la temática desarrollada (tecnología de los barcos de guerra del siglo XVIII) al ámbito naval, cuando en rigor se encuentra fuertemente vinculada con el contexto social, económico y político más amplio. Dado que esta relación ocupa un rol especial dentro del trabajo, adherimos en su lugar a una perspectiva de análisis más integral, que es propia de la denominada

Arqueología marítima. En particular, por ocuparnos de una problemática para la que se dispone de fuentes documentales, diremos que nos encontramos dentro de los límites de la Arqueología marítima histórica.

En esta breve introducción, sólo resta decir que las investigaciones dentro de este campo específico han contribuido al conocimiento de muchos temas relativos a la sociedad occidental moderna, tales como las actividades militares, el comercio e intercambio, las diversas empresas extractivas y el colonialismo europeo (Flatman y Staniforth 2006).

Devenir de la especialidad y perspectivas futuras

Abordar un repaso del devenir de la especialidad —desde su constitución como campo de conocimiento por derecho propio— en lo atinente a las principales cuestiones de carácter epistemológico, teórico y metodológico no es materia particular de esta investigación. Por ello, lo haremos de un modo conciso, mencionando únicamente aquellos datos que constituyen las bases de esta última.⁴ Dejaremos a un lado, por cuestiones de espacio y pertinencia, los aspectos relativos a la preservación del patrimonio y transferencia de información al público general, dos componentes fundamentales que junto con la investigación conforman hoy en día una tríada dentro de la especialidad.⁵

Los primeros emprendimientos arqueológicos (bajo el agua) del siglo xx se caracterizaron por ser operaciones de salvamento con una orientación al coleccionismo, mediante el uso de equipamiento de buceo profundo, pre-scuba⁶. El foco estuvo típicamente en la recuperación de piezas de arte. Lo que la mayoría de los trabajos durante este período tuvo en común fue el carácter asistemático de

⁴ Varios trabajos son de consulta primaria para aquellos interesados en la trayectoria de la especialidad a lo largo de la segunda mitad del siglo xx (e.g. Jasinski 1999; Delgado 2000a; Flatman y Staniforth 2006; Bass 2011; Gould 2011; Meide 2013).

⁵ Estos tres aspectos, como unidad, son considerados de suma importancia para el futuro de la especialidad (Delgado 2000b:31). También se ha hecho especial hincapié, como elementos clave para este siglo, en la tecnología, la interpretación pública y el manejo de los recursos culturales (Cohn 2000:18).

⁶ El término scuba es el acrónimo inglés de *self contained underwater breathing apparatus*, y refiere al sistema de buceo autónomo.

las extracciones, realizadas por buzos sin entrenamiento o experiencia en Arqueología, que estaban supervisados por arqueólogos desde la superficie. Este escenario perduró hasta la década de 1960, momento en que se produciría un punto de quiebre en la historia de la especialidad. Desde aquel año, se emprendieron las primeras excavaciones sistemáticas en naufragios, que se extenderían a nivel global a lo largo de la siguiente década. La particularidad de estos trabajos, a diferencia de momentos anteriores, es que fueron realizados por arqueólogos con capacitación en buceo. En esta época se desarrollaron y pusieron en práctica por primera vez métodos de excavación, relevamiento y registro (Bass 2011; Meide 2013). Los fundamentos de muchos de estos continúan utilizándose en la actualidad (Fig. 4.1).



FIGURA 4.1 – LABORES ARQUEOLÓGICAS EN EL TRIUNFANTE (1795)

Tareas de excavación, relevamiento y registro de un sector de la estructura del navío español de 64 cañones *Triunfante* (1795), a cargo del equipo de investigación del Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya (CASC), Museu d'Arqueologia de Catalunya (MAC).

Foto: CASC-MAC 2009. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Un aspecto teórico-metodológico clave que logró demostrar tempranamente George Bass, arqueólogo del Institute of Nautical Archaeology (EE.UU.) y pionero de la especialidad, fue que los principios y la práctica en Arqueología son siempre los mismos, sin importar si es desarrollada en tierra o bajo el agua (Delgado 2000a:9).⁷ Desde entonces, se asistió a importantes avances metodológicos —en materia de buceo y técnicas de prospección, excavación, relevamiento, registro y preservación— y al desarrollo de proyectos de investigación, programas universitarios, reuniones y publicaciones científicas, nacionales e internacionales (Bass 2011; para mayor información sobre las principales problemáticas y trabajos desarrollados durante las últimas dos décadas, consultar Delgado 1997; Babits y Van Tilburg 1998; Ruppé et al. 2002; Catsambis et al. 2011).

A lo largo de los años que separan aquellos primeros trabajos de la situación actual sobrevinieron diferentes propuestas —que motivaron varias discusiones— respecto a la orientación de las investigaciones, en particular de aquellas llevadas a cabo en naufragios. En este proceso es posible reconocer algunos matices, quiebres e incluso discontinuidades.

Durante las primeras dos décadas, el grueso de los estudios se caracterizó por estar centrado en los métodos, las nuevas tecnologías, la construcción naval y las tipologías de artefactos (Adams 2003:7). Es preciso resaltar que esta situación constituyó un paso inevitable y necesario en el desarrollo de la especialidad. Algunas investigaciones, no obstante, aportaron excelentes descripciones de la estructura de los barcos y los artefactos asociados, analizados en relación con el contexto histórico particular (Cockrell 1983:209). Entre finales de 1970 y comienzos de 1980 se asistió a un momento de inflexión, que marcaría en muchos sentidos los siguientes desarrollos teórico-metodológicos. Dos publicaciones han sido

⁷ George Bass condujo en 1960 la primera excavación de estas características en un naufragio de la edad de bronce (1200 a.C.), en Cabo Gelidonia (Turquía). En ese mismo año, John Goggin, de la Universidad de Florida (EE.UU.), publicó un artículo que para la mayoría de los profesionales del país constituyó la primera introducción formal al concepto de realizar Arqueología bajo el agua. Respecto de los estándares metodológicos, definió la especialidad “como la recuperación e interpretación de restos humanos y materiales culturales del pasado que yacen bajo el agua por arqueólogos”. Además, parece haberse anticipado a Bass al sostener que “¡es mucho más sencillo enseñar a bucear a un arqueólogo que arqueología a un buzo!”. Además de los trabajos de Bass, a lo largo de la década de 1960 se realizaron importantes hallazgos e investigaciones en distintas partes del mundo, que incluyeron sitios tales como el *Vasa* (Suecia), el *Mary Rose* (Inglaterra), el *Batavia* (Australia) y algunos de los barcos de la Armada Española de 1588 (Irlanda) (véase Bass 2011; Meide 2013).

ampliamente reconocidas como obras seminales: el citado libro de Muckelroy, *Maritime Archaeology* (1978), y la compilación de los trabajos presentados en el simposio *Shipwreck Anthropology* (celebrado en Santa Fe, Nuevo México, en 1981), cuya edición estuvo a cargo de Richard A. Gould (1983a). La primera de ellas y la mayoría de los estudios de la segunda, se erigieron como eminentes representantes de una posición alternativa a las aproximaciones historiográficas o particularistas que imperaban por aquel entonces.

Según Harpster, Muckelroy fue el joven caballero blanco que tendió el puente entre las ideas de la *Nueva Arqueología*, transmitidas a él por Grahame Clark y David Clarke, y la Arqueología marítima (Harpster 2009, citado en Meide 2013:7). Por primera vez, propuso el uso de modelos estadísticos para manejar grandes cuerpos de información y poder discernir patrones espaciales, y así reconstruir los procesos de formación de sitio desde el momento del naufragio. Además, planteó un marco interpretativo tripartito, para la mejor comprensión de los barcos dentro del contexto sociocultural original: 1) el barco como una máquina; 2) el barco como elemento de un sistema militar o económico; y 3) el barco como una comunidad cerrada, con su propia jerarquía, costumbres y convenciones (Muckelroy 1978:216). Tal como destacó Meide, este modelo fue de suma utilidad para aquellos interesados en explorar el rol de los barcos como parte de un sistema más amplio (Meide 2013:8).

En los EE.UU., la influencia de la Antropología cultural se vio reflejada en los trabajos de Gould, que propuso el estudio arqueológico de los naufragios desde una perspectiva antropológica (Gould 1983b, 2011). Pese a su particular atractivo, la influencia de esta perspectiva de investigación —i.e. Antropología de naufragios— fue gradualmente mermando (Flatman y Staniforth 2006:171). Desde la óptica de Bass, los objetivos de los arqueólogos náuticos continúan siendo en gran medida semejantes a los que tenían los especialistas en momentos previos, aquellos de los arqueólogos clásicos y medievales, e historiadores del arte (Bass 2011:9). De cualquier modo, merece destacarse la posición de Gould, quien ha insistido en la necesidad de mirar hacia las disciplinas afines en busca de lecciones —tanto atinadas como desacertadas— que permitan clarificar los objetivos de la especialidad y dirigir los esfuerzos de manera de conseguir resultados meritorios (Gould 2000:24).

Retornando a la cuestión de las corrientes teóricas, Meide notó recientemente que la Arqueología procesual tuvo una influencia relativamente limitada en la totalidad de las investigaciones de naufragios. Es probable, sostuvo, que los aspectos más duraderos radiquen en los estudios sobre procesos de formación de sitios, las experimentaciones, la aplicación de análisis estadísticos y el muestreo estratificado de los sitios. Por otro lado, afirmó que las aproximaciones historiográficas o particularistas —representadas en el libro de Gould (1983a) por el trabajo de Bass—, que en su máxima expresión se focalizan en la excavación completa y el análisis meticuloso de un naufragio y todos los materiales asociados (incluyendo la recuperación y reconstrucción del casco) probablemente seguirán siendo parte importante de la especialidad, dado el potencial de algunos sitios para producir cantidades excepcionales de nueva información (Meide 2013:10-11).

La cuestión de las aproximaciones particularistas vs generalistas ha sido objeto de intensas discusiones. Para Watson (1983), al igual que en otras ramas de la Arqueología, las investigaciones en naufragios pueden ser tanto específicas como generales con respecto a los interrogantes que abarcan. En un intento conciliador, propuso que ambos énfasis son esenciales e inseparables; y que, de hecho, están presentes en el trabajo de cada investigador. Agregó luego que los estudios de carácter histórico (particulares) son necesarios, aunque no deben considerarse como un fin en sí mismos, y que pueden ser empleados para dar respuesta a problemáticas sociales más amplias, que trasvasen los límites de uno o varios sitios. Desde una posición más pragmática, Adams (2003) planteó como interrogante qué tan concreta o significativa es la distinción entre ambos planteos si, en definitiva, son interdependientes. Y afirmó que el particularismo no es, en realidad, una perspectiva teórica; antes, es un aspecto de la observación empírica y recolección de datos. Como tal, constituye una parte por la que todo proyecto arqueológico debe transitar:

“...partiendo de preguntas de investigación tanto específicas como generales – hasta observar y registrar detalladamente la evidencia material arqueológica – hasta reconstruir y comprender aspectos específicos de aquel sitio – hasta responder preguntas más generales que impliquen la interpretación del sitio dentro de contextos sociales y ambientales más amplios” (Adams 2003:10; la traducción es personal).

A mediados del siglo pasado, Evans-Pritchard (1990) ofreció una conferencia en la que marcó las lesiones que había provocado la separación entre la Antropología y la Historia. Propuso en aquel entonces la necesidad de reconciliar ambas propuestas, rescatar el carácter singular de cada acontecimiento atendiendo a la indisociable generalidad dentro de la que se inscribe. Es probable que aún sea necesario prestarle más atención a sus palabras.

Las evaluaciones acerca de la situación actual, realizadas a principios de este siglo, son dispares. Mientras que algunos se muestran confiados respecto de la solidez y potencial teórico-metodológico de la especialidad, otros han expresado su inquietud frente a la vigencia de las perspectivas conservadoras focalizadas en aspectos empíricos y descriptivos, impulsadas más por las reacciones a los descubrimientos fortuitos que por estrategias coherentes de investigación. Con relación a esto último, otra preocupación concierne a la limitada atención que se ha puesto en la potencial contribución de las investigaciones interdisciplinarias (e.g. Flatman y Staniforth 2006:172).

Resulta interesante destacar la posición de Catsambis, Ford y Hamilton en el prefacio de la obra *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology* (2011). Allí sostuvieron que, en la actualidad, la Arqueología marítima constituye un campo de conocimiento maduro y de alcance global.⁸ Respecto de los principales logros alcanzados y las metas a cumplir, afirmaron que el futuro:

“descansa en la síntesis: síntesis de información arqueológica diversa, tanto cronológica como geográfica; síntesis y evolución de conceptos; síntesis de las subdisciplinas arqueológicas y las ciencias marítimas...” (Catsambis et al. 2011: xiii; la traducción es personal).

En otras palabras, pusieron de manifiesto la necesidad de integrar diferentes escalas de análisis, reflexionar acerca de los fundamentos teóricos de la especialidad y fomentar la articulación de diversos conocimientos, métodos y técnicas provenientes de otras disciplinas y especialidades. En cuanto al estado

⁸ Esta apreciación ya había sido señalada por Gibbins y Adams (2001) una década atrás, en la introducción a un número especial de la revista *World Archaeology* (vol. 32, número 3), que compiló una serie de artículos sobre arqueología marítima.

actual de la especialidad, destacaron que “ha sido recolectada suficiente información en tantos aspectos del pasado marítimo que es posible abordar cuestiones antropológicas e históricas” (Catsambis et al. 2011: xiv; la traducción es personal). Aspiramos a que este trabajo constituya un modesto aporte en este sentido.

Especialización y diálogo dentro de la disciplina arqueológica

En este punto es necesario reparar, aunque sea brevemente, en la cuestión del lugar que ha ocupado la Arqueología marítima —nos referimos a este campo, por las razones antes expuestas, pero la reflexión es válida para el resto— al interior de la Arqueología como disciplina. Luego diremos algunas palabras acerca del nexo entre esta última y la Historia, en especial en lo que al manejo de fuentes documentales en Arqueología histórica respecta. En el siguiente apartado de este capítulo iremos un poco más allá y nos ocuparemos de los vínculos interdisciplinarios, en nuestro caso de la relación entre la Arqueología y otras disciplinas tales como la Ingeniería, la Física y la Química.

La relación que han mantenido los investigadores especializados en Arqueología marítima con el resto de los profesionales de la disciplina arqueológica, ha seguido un camino sinuoso. La posición de los autores que hablaron sobre el tema durante los últimos quince años no es unánime, aunque en términos generales los escenarios optimistas son los menos representados.

Recientemente, Meide sostuvo que hacia finales de la década de 1970 los arqueólogos especializados ya constituían a nivel internacional una comunidad con identidad propia, fuertemente convencida de que su trabajo podía contribuir en grado significativo a la Arqueología. Sin embargo, según este autor, al mismo tiempo se fue excluyendo de la comunidad académica general, situación que probablemente empeoró con la constitución de revistas —destaca el *International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration*, que se introdujo en 1972— y sociedades especializadas (Meide 2013:7). Respecto de la comunidad europea y norteamericana, Adams mencionó que parte importante de esta no ha

visto en la labor de la especialidad más que una búsqueda de tesoros o, en el mejor de los casos, una exploración esotérica de poco interés para las agendas centrales de investigación arqueológica (Adams 2003:8).

Incluso Bass dijo haber sido víctima de estos prejuicios en reiteradas ocasiones, razón por la cual debió estar a la defensiva por más de veinte años (Bass 1983, citado en Meide 2013:7). Esta especie de alienación que en aquella época padecían —por motivos propios y ajenos— los arqueólogos marítimos del resto de la fraternidad académica también fue señalada por Jasinski, quien incluso remarcó una escisión al interior del primer grupo, debido al fuerte enfoque de muchos investigadores en aspectos náuticos (Jasinski 1999:5-6). Esta segregación se entiende, en parte, dadas las diferencias en los métodos y contextos —acuático y terrestre— de trabajo. Pero tal como sostuvo Nieto, refiriéndose a la concepción del público en general que: “esta idea suele ser fruto de una visión superficial en la que lo accidental y lo folklórico, los pantalones cortos o el traje de neopreno, la carretilla o la manga de succión, no dejan ver lo esencial [i.e. la unidad de la arqueología]” (Nieto 1988:34).

La situación fue cambiando un poco con el tiempo, aunque aún hoy en día se puede apreciar la distancia que separa a unos y otros. Hacia la década de 1980 se estableció un ámbito de discusión sobre temas de Arqueología de las áreas costeras, bajo el nombre de *waterfront archaeology*, a fin de encontrar un terreno en común. Varios autores han hecho énfasis en la necesidad de incorporar las investigaciones en Arqueología marítima dentro del campo disciplinar más amplio, tanto a nivel teórico como práctico, a fin de tornar mutuamente relevantes los resultados de los trabajos llevados a cabo en uno y otro ámbito (e.g. Jasinski 1999; Delgado 2000a; Flatman 2003).⁹

⁹ Delgado sostuvo en el discurso plenario que ofreció en la *32nd Annual Conference on Historical and Underwater Archaeology (The Society for Historical Archaeology Conference on Historical and Underwater Archaeology, 1999)* que uno de los pasos adelante más importantes que dio la especialidad en las últimas décadas fue la integración de los trabajos dentro de las varias ramas de la Arqueología. Según él, esta situación contribuyó significativamente, a veces de forma única, a nuestro conocimiento del pasado (Delgado 2000a:10). Sin embargo, más adelante, en respuesta a los comentarios que recibió a raíz de su presentación, sostuvo que “tenemos que examinar nuevos enfoques (...) es necesario que integremos mejor no sólo las herramientas, sino también los acercamientos de otras disciplinas”, para lo que previamente es necesario “integrarnos mejor dentro de la comunidad arqueológica” (Delgado 2000b:30).

Este planteo es de capital importancia, más aun si tenemos en cuenta que el aporte que se puede realizar desde la Arqueología marítima se extiende allende la esfera marítima (Martin 2011:1086). La excesiva segmentación de ambas esferas —i.e. especialidad y disciplina— se tradujo en un atrincheramiento que, por extensión, condujo en varios casos a una mirada (por demás) sesgada y fragmentaria, de los temas estudiados. Teniendo en cuenta lo anterior, resulta primordial articular de modo fluido las diversas fuentes de datos y perspectivas de análisis disponibles, entre otros aspectos relevantes. Sobre la base de ello es factible obtener un panorama integral, que reúna a diversos sitios en tierra y bajo el agua, de modo que guarde una mayor correspondencia con la complejidad acorde al caso en cuestión.

Otro tanto puede decirse respecto del vínculo con la Arqueología histórica, que permanece como un compromiso pendiente. Como corolario de una detallada revisión de las investigaciones en Arqueología marítima histórica (post-medieval, en Europa), en particular de aquellas realizadas en EE.UU., Reino Unido y Australia, Flatman y Staniforth afirmaron que es necesaria una mayor vinculación de la especialidad con la arqueología histórica (Flatman y Staniforth 2006:188). En vista de la multiplicidad de dimensiones que son comunes a ambas, su integración posibilitará desarrollar análisis más exhaustivos de las temáticas abordadas. Esta situación, ostensible entre campos putativos, también se aprecia en otros casos (e.g. entre la primera y la Historia marítima). De modo que la articulación de estos campos —que, si bien transitaron caminos separados, comparten intereses semejantes— redundará fuera de toda sombra de duda en beneficio mutuo.

Disquisiciones teórico-metodológicas

Excavaciones parciales versus extensivas en naufragios

La discusión en torno a la extensión de las excavaciones ha recibido especial atención. La excavación, considerada en el contexto de un proyecto arqueológico, sigue siendo parte crucial del proceso de investigación. La problemática ética que implica su puesta en práctica fue discutida por Rehren, entre otros. Como bien

expresó el mencionado autor, este procedimiento supone el reemplazo de la evidencia material e integridad inicial por una —necesariamente limitada— documentación, junto con un —aún más restringido— muestreo y almacenamiento de los restos, pero se realiza con el fin de obtener información que contribuya al conocimiento de las sociedades del pasado. Esto último es esencial a la Arqueología (véase Rehren 2002).¹⁰ Las pérdidas sólo pueden contemplarse y justificarse en el marco de una actividad desarrollada bajo la égida de una sólida ética disciplinar. Al respecto, la publicación de los estudios es tarea primordial.

Ahora bien, ¿se excava la totalidad de los restos de un barco (excavación extensiva) o tan sólo una parte (excavación parcial)? Quienes abogan por estudiar un sitio por completo, en esencia sostienen la necesidad de obtener un panorama lo más completo y preciso posible de un tipo de sitio que —en la medida en que un pecio equivale a un evento de fronteras espaciales y temporales bien definidas— puede considerarse como una unidad. Bass, quien continúa siendo uno de los principales exponentes de esta posición, planteó que la estrategia de excavación parcial de los sitios ha conducido a imprecisiones históricas que, en algunos casos, luego pudieron ser enmendadas (Bass 2011:10).

A nuestro entender, la segunda modalidad citada no supone necesariamente que la información obtenida, aunque parcial, sea de carácter erróneo; y si fuera necesario revisar y corregir los resultados alcanzados en cierto momento, ello no representaría más que un paso usual de la práctica científica. La situación dependerá en parte importante de la problemática en cuestión y, por ende, de los datos que se requieran para su análisis. Lo esencial, tal como propuso Steffy (1978), es examinar de cerca hasta la más mínima evidencia en busca de la mayor cantidad de información posible. En este sentido, cabe decir que muchos aspectos relativos a, por ejemplo, la arquitectura naval, pueden ser examinados de manera

¹⁰ Teniendo en cuenta que durante las operaciones arqueológicas en un sitio —en particular, las excavaciones— este se ve afectado de manera irreversible, actualmente la tendencia internacional es otorgarle prioridad, más no exclusividad, a aquellas estrategias en materia de investigación que generen un mínimo impacto (i.e. operaciones no intrusivas). El hincapié está puesto cada vez más en su preservación a largo plazo, preferentemente *in situ*, por lo que las actividades que puedan alterar las condiciones de un sitio deben estar basadas en argumentos meritorios, en particular: la relevancia del caso para el conocimiento de aspectos del pasado declarados de interés científico o el peligro de destrucción inminente al que aquel se encuentra (probablemente) sometido.

adecuada mediante una fracción de los restos disponibles. Numerosas investigaciones llevadas a cabo según estos estándares son prueba de ello (e.g. Murray et al. 2009; Elkin et al. 2011; por citar un par de casos de Patagonia). Por otro lado, si se pusieran en juego consideraciones relativas a la preservación *in situ* y la posibilidad de realizar estudios futuros, la situación se tornaría aún más compleja. En consecuencia, sería aventurado proponer de antemano una única sentencia, y es probable que cada sitio y temática demanden una solución acorde a las exigencias particulares del caso. En este sentido estamos de acuerdo con Gould, que abogó por una excavación más selectiva, acorde con cierto diseño (preguntas) de investigación (Gould 2003b:9).

Dentro de este escenario, qué se entiende por un barco es esencial; sobre esta base pueden encontrarse las herramientas para dilucidar la cuestión anterior. A continuación diremos algunas palabras al respecto.

Máquinas complejas y algo más

Desde la publicación seminal de Muckelroy (1978), los tres aspectos presentados por este autor para definir *lato sensu* un barco han gozado de común acuerdo.¹¹ Siguiendo a Muckelroy, de modo sintético Pomey afirmó recientemente que un barco es:

- i. “Una máquina. Es, sin embargo, una máquina compleja que flota y se desplaza en una forma autónoma y controlada, y constituye un sistema arquitectónico junto con un sistema técnico.
- ii. Un instrumento adaptado a una función. El instrumento está diseñado para responder a las necesidades específicas que surgen de un sistema político, económico o militar. Este instrumento constituye un sistema funcional.

¹¹ También se han propuesto otras formas de entender las embarcaciones, en base a sus elementos distintivos. Cockrell, con fines exclusivamente analíticos, expuso un sistema de clasificación según el cual un barco puede desempeñar una o varias de las siguientes funciones (como transporte): subsistencia doméstica, exploratoria, militar, comercial, de placer y ceremonial (Cockrell 1983:211). Adams, al considerar que las embarcaciones son expresiones materiales de las ideas sociales, y que muchas están cargadas de un fuerte simbolismo, resaltó un aspecto largamente soslayado (Adams 2001:295,296).

- iii. El entorno de vida y de trabajo de una microsociedad. Es, no obstante, una sociedad cerrada cuya jerarquía, creencias, normas, ritmos de vida y herramientas constituyen un sistema social particular” (Pomey 2011:26; la traducción y el desglose son personales).

Como anticipamos anteriormente, aquí nos ocuparemos básicamente de los dos primeros aspectos, con foco en el diseño y la construcción naval, el equipamiento náutico y la artillería, dado la importancia de estos elementos para el análisis de los procesos de innovación tecnológica.

La primera cualidad que distingue a un barco, i.e. una máquina compleja, implica en primer término que se trata de una estructura arquitectónica, capaz de flotar y moverse de un lugar a otro de manera autónoma y controlada. Para poder desplazarse, además de la estructura, deberá disponer de un medio de propulsión y maniobra —y, podríamos agregar, un equipo de fondeo y achique—, todo lo cual le confiere el carácter de un sistema técnico (*sensu* Pomey 2011:27). Tal como este autor señaló, desde el momento de la concepción, ambos aspectos, el arquitectónico y el que al equipamiento respecta, deberán ser definidos de forma articulada según los requerimientos particulares de la nave (Pomey 2011:27).

En un plano más profundo, debemos notar, entender a los barcos como máquinas complejas supone además dar por sentado ciertas cuestiones, en función de las cuales se sustentará su estudio. Esta perspectiva resulta fructífera, pero abreviar en ella de modo irreflexivo puede llegar a encubrir cuestiones de interés para el propio análisis. Acordamos en parte con Nieto en que “ninguna pieza de un barco existe sin una razón y todas se complementan en su misión para lo que cada una tiene una forma y unas características determinadas con el fin de entre todas conseguir el efecto deseado” (Nieto 1984:129).

Un barco del tipo que aquí nos atañe está formado por numerosos y diversos elementos; todos ellos, o cuando menos la mayoría, operan bajo cierta lógica y de manera conjunta para cumplir con un objetivo determinado. Lo anterior, en principio, podría considerarse como un postulado de aplicación extensiva. No obstante, afirmaciones como la anterior suelen connotar nociones de eficacia y eficiencia que no deberían ser consideradas *a priori* sin una evaluación precisa de

cada situación. Más aún, es posible que muchos casos respondan menos a elecciones racionales basadas en la disponibilidad de opciones óptimas —usualmente conservadoras— que, por ejemplo, a soluciones de compromiso y experimentación en circunstancias particulares. Esta consideración general cobra especial importancia como medida precautoria a la hora de analizar la dinámica de innovación tecnológica dentro del ámbito naval, para evitar manifestaciones de carácter tautológico en las que terminan primando los presupuestos sobre el sustento empírico de la investigación.

Semejante planteo vale para el caso de la operación de los barcos. En ocasiones se ha pensado a los miembros de las tripulaciones como engranajes de una máquina, manejada por su comandante. Nada más lejos de la complejidad asociada a la vida a bordo de un buque de guerra. Entender a los hombres como elementos que funcionan como partes articuladas de una máquina, en lugar de concebirlas como personas que cometían errores, muchas veces adrede, que realizaban cuestionamientos, que se negaban a hacer su trabajo o bien lo hacían a desgano, o sencillamente abandonaban su puesto, etc., cuando menos trae aparejado serios problemas interpretativos. Los inconvenientes asociados a la formación y reclutamiento de la mayoría de los marineros que eran incorporados para trabajar en las Armadas, sobre todo en tiempos de guerra, bastan por sí solos para que aquella imagen mecanicista nos resulte muy poco fidedigna. La organización que se mantenía a bordo distaba de aquella que ostenta una máquina, y es probable que esta brecha fuera aún más notoria en el momento en que un barco de guerra entraba en acción.

La segunda característica, i.e. el barco como un instrumento, es tan fundamental que constituye la esencia misma de una nave. Su construcción responderá a ciertas demandas, según las actividades a las que se conciba comisionarle. La índole de las operaciones, en definitiva, condicionarán la forma del casco y el equipamiento utilizado, es decir que el sistema técnico y funcional se encuentran estrechamente articulados y resultan cruciales en lo que a la definición del tipo de barco concierne (Pomey 2011:27). Esto fue expresamente notado por los tratadistas navales. Parafraseando al ilustre Duhamel du Monceau, las reglas generales atinentes a la construcción naval (i.e. dimensiones de los barcos, métodos de construcción, etc.) deben ser observadas por un buen constructor de

tal modo que puedan ser acomodadas según el caso, ya que no es lo mismo un barco comercial que uno de guerra, ni un corsario que un navío de línea; la gran variedad de naves que surcan los mares, ríos y lagos son el producto de esta multiplicidad de destinos (Duhamel du Monceau 1758:311,312).

Quisiéramos rescatar aquí el carácter dual de las actividades marítimas, en particular navales, lo cual se relaciona con el tercer aspecto mencionado por Pomey. Estas acciones se encuentran típicamente orientadas a un medio y quehacer específicos, i.e. el mar, u otro ambiente acuático, y la navegación, cualquiera sea su fin, por lo que muchos de los artefactos serán de carácter especializado. Pero, al mismo tiempo, sostienen una relación umbilical con la sociedad emplazada en tierra. Los barcos, en definitiva, no son sino una manifestación —con ciertas características exclusivas, en razón de la propia actividad y su relativo aislamiento¹²— de un sistema social, económico, político y simbólico más amplio. En otras palabras, no navegaron en un vacío sociocultural. El potencial que poseen los naufragios como fuentes de información para el conocimiento antropológico de los grupos que viajaban a bordo de los barcos y, recaudos mediante, de la sociedad de su tiempo, fue puesto de manifiesto en varias ocasiones (e.g. Cockrell 1983; Lenihan 1983; Adams 2001).¹³

Las naves en cuestión, ya sea que se las considere como un sistema arquitectónico-técnico, funcional y/o social particular, nos brindan la posibilidad de acceder al conocimiento de diversos aspectos a ellas vinculados. La integridad de los restos materiales será un aspecto a tener en consideración a la hora de realizar los estudios particulares. A este respecto, seguido haremos una breve digresión para comentar un tema de importantes implicaciones para esta investigación.

¹² Muckelroy sostuvo que una embarcación constituye una comunidad cerrada (*close community*), pero con características exclusivas en razón de la propia actividad (Muckelroy 1978). En esta misma línea argumentativa, Martin invitó a considerar cada barco como “...una sociedad encapsulada, un microcosmos tecnológico y una expresión de actividades (...) única para su época y contexto particular” (Martin 1997:1; la traducción es nuestra). Adams (2001) cuestionó esta posición, e hizo hincapié en las particularidades que distinguen a las tripulaciones y las dificultades de realizar simples extrapolaciones.

¹³ Westerdahl señaló que un barco opera dentro de una red predefinida de tránsito, i.e. las *zonas de transporte*, que refieren a la cultura material —vernácula, cotidiana y tradicional— de actividades vinculadas al transporte, la construcción naval, el mantenimiento y manejo de un barco, que usualmente está reflejada en ámbitos no específicamente marítimos. Sobre la base de lo anterior, hizo hincapié en la necesidad de estudiar los diferentes tipos de barcos en relación con estas últimas (Westerdahl 1994:267-268).

La noción de cápsula del tiempo

Esta metáfora suele considerarse vulgarmente como uno de los aspectos distintivos de los naufragios, respecto de la mayoría de los sitios arqueológicos en tierra. Este argumento tiene que ver no sólo con las características particulares de los barcos, sino también con el proceso de naufragio y preservación de los restos materiales a lo largo del tiempo.

Muckelroy (1978) propuso que a partir de los naufragios es posible estudiar una diversidad de materiales que poseen entre sí un alto grado de contemporaneidad. Un barco puede considerarse como “una cápsula cerrada y aislada (...) que guarda una estrecha relación y determinada relación con (...) el puerto de origen y el puerto de destino no alcanzado por la nave...” (Nieto 1988:35). En esta misma argumental, pero de modo más radical, se llegó a considerar a los sitios que se encuentran sumergidos —en el caso de los eventos únicos— como cápsulas del tiempo, ventanas o instantáneas del pasado, es decir conjuntos cronológicamente acotados a un momento preciso.¹⁴

Aunque esta noción tiene un particular atractivo, dista de expresar satisfactoriamente el escenario que caracteriza a muchos sitios. La real complejidad del asunto sale a la luz si se tiene en cuenta la trayectoria histórica particular de cada barco, las condiciones del naufragio, las transformaciones operadas por la tripulación en momentos previos —que pudieron reestructurar la organización a bordo durante horas o días—, y los procesos de formación naturales y culturales post-naufragio, entre otros aspectos (véase Adams 2001). En esta misma línea, Conlin le otorgó a la idea de cápsula del tiempo un sentido más restringido, al afirmar que se aplica únicamente a los cargamentos, que eran puestos a bordo inmediatamente antes de iniciar un viaje (Conlin 1998:8).

Se puede argüir que algunos sitios poseen una coherencia e integridad tal que ofrecen una imagen de alta resolución respecto de las actividades pasadas, pero es necesario tener en consideración algunas cuestiones. Como bien destacó Adams, la

¹⁴ Algunos naufragios, entre los que se pueden contar varios casos célebres, se destacan por el buen estado de preservación que presentan sus restos, aspecto que ha sido enfatizado sobre todo respecto de los restos orgánicos. Ello, sumado que por lo general han sido tratados como sitios unicomponentes, llevó a considerarlos como cápsulas de tiempo.

contemporaneidad refiere al evento de naufragio y no a todos los elementos del barco que, de hecho, pueden tener décadas de diferencia entre sí y no estar asociados de modo uniforme.¹⁵ En términos de su biografía como entidad social y tecnológica, la vida de un barco puede ser considerada diversa y cambiante; en palabras del autor: “un barco arriba a su lugar de naufragio con una estratigrafía propia [*onboard stratigraphy*]” (Adams 2001:297; la traducción es personal). Este autor concluyó que entender a los naufragios como eventos únicos puede llegar a impedir apreciar diversos aspectos del pasado de los barcos. Ello no desvirtúa el valor que pueden tener los materiales utilizados al momento del siniestro en términos de conjunto cerrado cronológicamente, sino que abre la posibilidad de realizar un análisis diacrónico de los restos (Adams 2001:297).

En esta investigación, tal como veremos más adelante, se utilizará información recabada de un conjunto de naufragios que exhiben diferentes condiciones de preservación. Algunos presentan un alto grado de desarticulación estructural y sus materiales yacen dispersos en el espacio, mientras que otros mantienen una elevada integridad física respecto de su condición original. Por otro lado, los sitios en cuestión presentan diferencias notables con relación a la vida operativa, que se extiende desde unos pocos años hasta varias décadas. El escenario resultante de esta compleja trama de situaciones demandará asumir ciertos recaudos al momento de realizar el análisis de los restos, pero a su vez lleva aparejado un gran potencial respecto a la posibilidad de evaluar determinadas cuestiones a nivel diacrónico, que son de sumo interés para la investigación del cambio tecnológico.

Los naufragios y la sociedad de su tiempo

Los pecios, producto y reflejo de la tecnología pasada

A lo largo de la historia —omitimos aquí aquellos casos de depositación ritual y abandono intencional—¹⁶ los naufragios han sido en su mayoría producto de

¹⁵ El reconocimiento de esta cuestión es primordial, dado que posee implicancias para la interpretación de los materiales (véase el capítulo 6).

¹⁶ Respecto de la importancia de estos aspectos y de la carga simbólica asociada a las embarcaciones en distintas sociedades, véase Adams 2001.

situaciones accidentales, ajenas a la voluntad de las personas (Nieto 1984:35). Los factores que pueden operar como causas últimas e inmediatas de un evento de esta índole son diversos. En esencia, podrían clasificarse en naturales, si consideramos las inclemencias climáticas y los accidentes geográficos, y sociales, por ejemplo en el caso de los hundimientos producto de enfrentamientos bélicos, fallas técnicas o impericias marineras. Aún así, por lo general podría identificarse una combinación de agentes (Adams 2001:294), que suelen interactuar de manera sucesiva o simultánea. Entre estos aspectos, se encuentra la relación entre la condición del barco, que se va afectada durante su vida útil, y las decisiones de las personas frente a su capacidad de navegar. En este sentido, muchos naufragios han ocurrido a consecuencia de un juicio erróneo: que el barco era apto para realizar un viaje más (Murphy 1983:75). La investigación de los restos de un sitio cobra especial interés para analizar cuestiones que se relacionan con la propia nave y, en alguna medida, con la sociedad de la época.

En el campo de la Arqueología marítima histórica, los proyectos de investigación en torno a los naufragios (i.e. Arqueología náutica) han ocupado un espacio predominante (Bass 2011:4). Esta situación es tanto resultado de la propia historia de desarrollo de la especialidad como reflejo de la predominancia numérica de este tipo de sitios alrededor del mundo (Flatman y Staniforth 2006:172). Los naufragios constituyen una fuente de información excepcional para el conocimiento de diversos aspectos del pasado humano, incluso en aquellos casos en que se dispone de información histórica y evidencias materiales de otros sitios arqueológicos.¹⁷ Esta posibilidad es la recompensa irremplazable que nos ofrecen (Cohn 2000:19). Ello es posible gracias a que, como se enfatizó en varias oportunidades, los barcos no han sido expresiones tecnológicas aisladas, sino parte integral —aunque específica, como ya vimos— del contexto sociocultural de su tiempo (e.g. Lenihan 1983:50,51; Adams 2001:300; Martin 2011:1088).

Tal como afirmó Nieto en un artículo cuya primera parte se intitula *El pecio como fuente de información*, el estudio de un barco “no puede ser en sí mismo,

¹⁷ Algunos materiales (e.g. productos orgánicos) que se llevaban a bordo de las embarcaciones y muchas veces logran preservarse entre sus restos, difícilmente se encuentran en tierra. Además, en ocasiones, los hallazgos procedentes de naufragios pueden ser utilizados para evaluar críticamente las versiones disponibles en los registros documentales históricos (Flatman y Staniforth 2006:183-184).

sino un paso importante, *pero intermedio*, para lograr un conocimiento histórico más amplio” (Nieto 1988:35). Para ello, es fundamental reconstituir el barco original e interpretarlo dentro de un marco histórico bien definido (Pomey 2011:25). Las palabras de Maarleveld son sugerentes, en particular respecto del tema central de la presente investigación:

“Los barcos contienen en su construcción una de las mejores pistas de la mente del *homo faber* que el arqueólogo pueda esperar encontrar jamás. El estudio de los detalles técnicos de la construcción naval (...) nos brinda una oportunidad excepcional para comprender el pensamiento, los conceptos y las decisiones del pasado” (Maarleveld 1995:4; la traducción es personal).

Al respecto, es necesario tener en cuenta que cada tipo de barco es único de determinado tiempo y lugar, pero a la vez es indicativo de tendencias más generales (Catsambis et al. 2011:xvi). Resultan de interés especial los diversos aspectos tecnológicos que se pueden analizar a partir de la investigación de los barcos y los productos que estos transportaban. En palabras de Martin:

“Las naves naufragadas revelan los logros tecnológicos de su época. Los buques de guerra demuestran los desarrollos en tecnologías ofensivas y defensivas. Los barcos mercantes llevan evidencia de la gama de cargas que se comercializaba. Todo esto contribuye a nuestra comprensión de mundos pasados y sus redes de intercambio e interacción” (Martin 2011:1086; la traducción es personal).

Aquí nos interesa resaltar sobre todo el caso de los barcos de guerra. Estos, agregamos a las palabras anteriores, pueden aportar información valiosa acerca de diversos conocimientos, materiales y prácticas del pasado que ocuparon un espacio preferencial dentro del ámbito militar, en algunos casos no necesariamente de carácter exclusivo, y que luego se extendieron hacia —o repercutieron sobre— otros contextos. Para ello, como expondremos en el siguiente acápite, será sumamente fructífero articular diferentes escalas de análisis espacial y temporal, considerando sitios de semejante y/o diversa procedencia, y desde una perspectiva sincrónica y/o diacrónica.

Como argumentamos, la evidencia de los pecios puede arrojar luz sobre cuestiones que pese a su proximidad temporal y notabilidad histórica, aún son poco conocidas. Al respecto, Gould se refirió brevemente a la industria de construcción de barcos de hierro forjado entre mediados y fines del siglo XIX, la cual desempeñó un papel central en la transición de la vela al vapor. La información documental acerca de los procesos de producción y aplicación de este material dentro del ámbito naval es cuantiosa; no obstante, restan numerosos interrogantes con respecto a los factores socio-económicos que operaron detrás de este cambio. Resulta de interés analizar cómo la fabricación del hierro forjado, que estaba basada en una modalidad de trabajo manual, alcanzó una escala de producción industrial. A diferencia del acero, destacó este autor, la obtención del hierro forjado en semejantes cantidades era una empresa muy laboriosa, que requería de una micro y macro organización, así como cualificaciones especiales, que todavía no son bien conocidas (Gould 2000:27).¹⁸ Veremos a lo largo de la tesis otros casos que dan cuenta de la posibilidad de analizar aspectos socioculturales, en particular tecnológicos, que trascienden las coordenadas propias de un naufragio.

Podemos afirmar que los restos de barcos nos proveen de información fundamental para el conocimiento de diversos componentes marítimos —i.e. artefactos, actividades, ideas, etc., a los que algunos refieren en su conjunto como *cultura marítima*— de algunas sociedades. En este sentido, el tipo de acceso al mar y la importancia que a este se le otorga son elementos cruciales a tener en consideración. Por otro lado, es primordial reconocer que los componentes en cuestión no constituyen elementos aislados, sino que son parte integral del contexto más general y su análisis aportará mayor información sobre este último cuanto más relevante sea o haya sido la vinculación de una población con el entorno marítimo (Hunter 1994). Esto cobra especial sentido en el caso de los países insulares del mundo moderno (Jasinski 1999:12).

Respecto de lo anterior, no es casual que Inglaterra haya alcanzado un lugar de primera categoría con respecto a la navegación, y que esta haya tenido profundas implicancias en diversos contextos. Numerosas evidencias en tierra de actividades

¹⁸ Para una discusión sobre la relación entre las características singulares de los barcos o naufragios en estudio y los aspectos socioculturales más amplios, véase Gould (2011).

marítimas son prueba de ello.¹⁹ Asimismo, esta situación está reflejada en el medio de transporte marítimo por excelencia, i.e. los barcos, por lo que su estudio puede contribuir al conocimiento de un aspecto significativo de la historia del país. Semejante perspectiva puede aplicarse a aquellos estados continentales, como Francia y España, cuyos componentes marítimos cumplieron un papel notable. En el caso de las actividades que se desarrollaron dentro de un escenario internacional (e.g. el comercio) los sitios que dan cuenta de ello se encuentran dispersos en extensas regiones, tanto en tierra como bajo el agua. Las evidencias arqueológicas constituyen un medio de estudio valioso, que requiere ser abordado conforme a la propia dinámica de las empresas, i.e. de manera regional o global.

El estudio de naufragios en perspectiva regional y diacrónica

Este reconocimiento del potencial que poseen los naufragios en calidad de fuentes de información sobre diversos aspectos —algunos de ellos estrictamente navales; otros, más amplios, pero aún así complementarios— requirió de un extenso camino de reflexión al interior de la especialidad. Aún así, al día de hoy, cómo abordar el análisis de este tipo de evidencia a fin de acceder a tal conocimiento probablemente constituya el más grande desafío por delante. Como resulta habitual, el panorama es más alentador en la teoría que en la práctica.

Gould expresó sus reservas respecto de las interpretaciones descriptivas, anecdóticas, producto de una aproximación particularista. Hizo hincapié en la fijación que ha existido por los naufragios célebres (algunos de ellos, íconos nacionales de la historia marítima) y se preguntó cuán representativos son estos sitios, muchas veces únicos o inusuales. Frente a esta situación, planteó la necesidad de concentrarse en realizar muestreos (y análisis probabilísticos) a nivel regional, los cuales pueden abarcar sitios menos conocidos pero más típicos de las

¹⁹ Flatman y Staniforth (2006:182-183) hicieron un breve recuento de las investigaciones arqueológicas en algunos sitios (e.g. puertos, astilleros y defensas costeras) británicos y destacaron que el estudio integral de las evidencias halladas en tierra y bajo el agua constituye un área importante y emergente de la arqueología marítima histórica regional.

prácticas marítimas de la época y lugar considerados (Gould 2000:24). Desde un punto de vista epistemológico, aquí adherimos a esta posición.²⁰

Respecto del carácter regional de los trabajos, Flatman y Staniforth afirmaron que los arqueólogos marítimos son conscientes de la importancia de las interconexiones a nivel mundial en época moderna (Flatman y Staniforth 2006:178). Durante los últimos años, algunos investigadores han explorado la relación entre las evidencias materiales de los sitios —entidades discretas, expresión de manifestaciones situacionales, que han sido sujetos a diversos estudios de grano fino— y los contextos de mayor escala, considerando tanto los aspectos distintivos y concretos de la vida social en determinado lugar como su articulación con aquellos procesos más extensos (e.g. Gould 2011). En el caso particular de los naufragios, las investigaciones se extienden desde el estudio de las evidencias de un barco específico hasta el análisis de un grupo, por el hecho de que pertenecen a cierto período de desarrollo, a un área geográfica particular o a un tema histórico más amplio (Delgado 2000a:10,11). Esto último merece ser comentado con algo más de detenimiento.

Cockrell (1983) propuso un sistema para analizar los naufragios y la sociedad (en tierra) con la que estaban relacionados. Esta clasificación es útil en tanto en cuanto permite manipular datos complejos, abarcar y ordenar diversas relaciones, según el problema de investigación. Los estudios, según la estructuración de la información, pueden ser clasificados según las siguientes dimensiones de análisis:

- i. Intrasitio: incumbe a los trabajos realizados en un único naufragio.
- ii. Intersitio: comprende a los estudios de tipo comparativo, puntualmente entre barcos coetáneos de diferente procedencia; o de una misma región, pero de diferente época.
- iii. Intraflota: a diferencia de los anteriores, se refiere a los trabajos que analizan naves de una misma procedencia y contemporáneas entre sí.
- iv. Interflota: corresponde a la investigación de flotas de similar o diferente origen, sean o no del mismo período.

²⁰ Esta perspectiva en modo alguno resta crédito a los trabajos realizados en sitios conservados excepcionalmente (a los que hizo referencia Gould) para el desarrollo de la especialidad, el conocimiento de diversos aspectos del pasado y la divulgación de las investigaciones.

Las posibilidades que brinda este último nivel de análisis son, de acuerdo con Cockrell, virtualmente ilimitadas. Si además se considera el vínculo que mantenían los barcos con el contexto parental, mediante la incorporación de información —preferentemente dentro del mismo marco analítico (e.g. antropológico o histórico) al utilizado para abordar el estudio de los naufragios— de las sociedades emplazadas en tierra, es posible extender cada uno de las instancias analíticas anteriores todavía más (Cockrell 1983:215).

Luego de transcurridas poco más de tres décadas del planteo efectuado por este autor, la situación no presenta cambios significativos en lo que a la representatividad de las investigaciones respecta: aquellas desarrolladas a nivel intrasitio (i) predominan hasta la fecha, mientras que los trabajos que se sitúan en el otro extremo de la clasificación (iv) son casi inexistentes. Respecto de los primeros, numerosos reportes de extraordinaria calidad (e.g. Stanbury 1994; Breen 2001; Gardiner y Allen 2005; Cederlung 2006; Bingeman 2010; Elkin et al. 2011; Nieto et al. 2013, por citar sólo algunos sitios de época Moderna) reúnen la información recabada durante años de investigación. Los trabajos de síntesis sobre más de un naufragio, por lo general de sitios que se encuentran localizados en un área acotada, son menos cuantiosos que los anteriores (e.g. McLaughlin-Neyland y Neyland 1993; L'Hour y Veyrat 2000-2004; Grenier et al. 2007). Muchos de estos trabajos, además de presentar en detalle los resultados sobre el estudio de diversas cuestiones, en gran parte navales, incluyen interesantes comparaciones entre los barcos y los plurales ámbitos socioculturales. El bagaje de información obtenido del estudio de diversos sitios también ha probado ser de suma utilidad para ulteriores análisis desde una perspectiva comparativa. En el caso de los barcos de la Armada Invencible (1588), Gould hizo hincapié en la posibilidad de evaluar los materiales disponibles de estos sitios en tanto expresiones de ciertos comportamientos frente a situaciones especiales, como la guerra, y arribar a proposiciones pasibles de ser extrapoladas a múltiples situaciones similares, adonde deberán ser ulteriormente testeadas (véase Gould 1983c).

Siguiendo el esquema anterior, podemos caracterizar este trabajo de la siguiente manera: sobre la base de un profuso análisis intrasitio —naufragios de bandera británica, francesa y española, que cubren un período de alrededor de un siglo— se desarrolla la investigación de las innovaciones tecnológicas desde la

perspectiva intersitio, con algunos aportes a nivel intraflota e interflota, en el marco del contexto sociocultural más amplio.

Múltiples variables y un caleidoscopio de relaciones

Para analizar las innovaciones tecnológicas dentro del ámbito naval, primero debemos introducirnos en diversas cuestiones relativas a la historia de vida de los barcos. Unas se refieren a las instancias que pueden considerarse como el marco dentro del cual se desarrollaron los procesos de cambio; otras, más específicas, dan cuenta de los factores que estuvieron involucrados de manera directa con las modificaciones particulares. Con fines analíticos, por momentos haremos una abstracción del contexto estrictamente naval. Pero, como veremos más adelante, este se encuentra de modo ineludible atravesado por —y, en algún grado, a la vez influye sobre— diversos elementos sociales, económicos, políticos y simbólicos que trascienden aquel entorno.

Es de particular interés para nuestro trabajo la posición de Adams (2001). Aquí nos concentraremos en las restricciones de carácter físico y metafísico que, según él, operan de forma interrelacionada sobre la existencia de los barcos, y yacen reflejadas en estos últimos (Fig. 4.2).

A continuación describiremos de forma sucinta a qué se refieren las mencionadas restricciones y, en función del modo en que los barcos están sujetos a cada una de estas desde su concepción, cuál es su potencial analítico para la investigación. Parafraseando a Adams (2001:300-304):

- i. Propósito: se refiere a la función —entiéndase una o varias— de los barcos, que está relacionada de forma directa con las necesidades marítimas de la sociedad. Algunos barcos (e.g. militares) exhiben un elevado grado de especialización, que impone restricciones sobre características tales como su forma y tamaño. El nivel que estos muestran puede ser indicativo de la complejidad del sistema de transporte acuático dentro del cual operan.
- ii. Tecnología: se trata de los medios disponibles para la construcción de las naves. La complejidad técnica que estas requieren, debido a los esfuerzos a

los que se encuentran sometidas durante su uso, es extraordinaria. Por ello —esto vale especialmente en el caso de los barcos de guerra—, los métodos de construcción naval suelen representar la tecnología de punta de la sociedad, y por ende constituyen un medio destacado para acceder a las motivaciones, necesidades y prioridad es de esta última.

- iii. Tradición: esta suerte de elaboración analítica propia, o abstracción de la realidad (material e inmaterial), hace alusión a las prácticas sociales convencionales o reglamentadas que gobiernan el modo en que se fabrican los barcos. Pese a la distancia que puede existir entre nuestra percepción y la de las personas que están involucradas con los materiales en cuestión, es posible afirmar que la tradición encarna un sistema de ideas que opera a nivel reflexivo en los artesanos —cuando menos, son conscientes de que hacen las cosas de determinada forma porque así es como suelen realizarlas— e impone ciertas restricciones con respecto a los parámetros de diseño y las maneras en que se construyen. Es importante destacar que las tradiciones en construcción naval no son entidades delimitadas y estancas; por el contrario, se encuentran interconectadas en el plano de las ideas y de lo material. En este dinamismo existe una tensión dialéctica constante entre las prácticas conservadoras y las tendencias innovadoras, que da lugar al surgimiento de muchos cambios.
- iv. Materiales: son aquellas materias primas y objetos manufacturados disponibles para la construcción. Debido a la importancia que su disponibilidad supone para la industria naval, en muchos casos las elecciones realizadas pueden ser indicativas de las preferencias particulares o de la capacidad tecnológica para emplearlos.
- v. Economía: hace referencia a los recursos humanos y/o económicos (riqueza) necesarios para producir un barco. En el contexto moderno —y las sociedades complejas en general— los recursos suelen encontrarse vinculados de modo directo a las esferas política y militar, y depender de la capacidad económica de la sociedad. La construcción naval a gran escala requiere del acceso a una amplia diversidad de materiales y una

considerable cantidad de mano de obra, y por ello de la existencia de una gran infraestructura que incluye numerosas industrias satélites.

- vi. Ambiente: es el medio de operación al que se prevé destinar las naves. Las características de este entorno ejercerán fuertes restricciones de orden práctico y mecánico sobre las posibles formas de construcción, que estarán mediadas por los requisitos particulares de la actividad y las elecciones sociales en razón de ello.
- vii. Ideología: consiste en la suma de ideas que rigen la manera en que se entienden los barcos y los usos que pueden cumplir. Incluye, por ende, las ideas de los constructores, de aquellos que solicitan los barcos para ciertos fines, y de quienes los utilizan, así como la percepción que de estos tiene el resto de la sociedad (incluyendo los extranjeros). De la articulación entre estos aspectos dependerá el modo en que son producidos y utilizados.

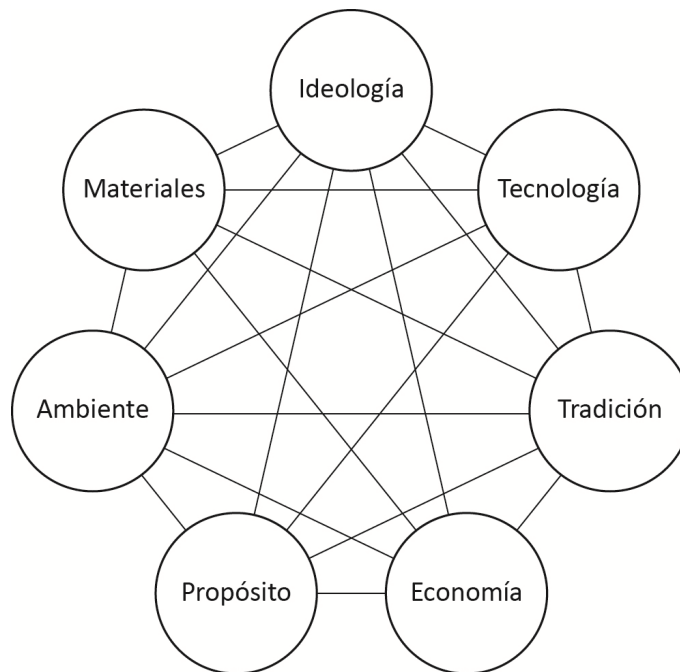


FIGURA 4.2 – RESTRICCIONES QUE ACTÚAN SOBRE LOS BARCOS.

Esquema en el que se aprecian las diversas restricciones —y múltiples vinculaciones entre ellas— que operan sobre la forma, características estructurales, aspecto y uso de las naves.

Gráfico realizado en base a Adams (2001: figura 1).

Hasta aquí, dejamos delineadas las restricciones que Adams (2001) propuso. Ahondaremos en algunos de estos elementos, así como en las relaciones que mantienen entre sí —ya que de estas dependerán los cambios— cuando analicemos el tema particular de la tesis a la luz de los resultados obtenidos del estudio de los casos escogidos.

En cuanto al análisis particular de la tecnología naval, puede establecerse una distinción, en sintonía con el diseño y la construcción, entre la *concepción* (*conception*) y la *materialización* (*realization*) de un barco (*sensu* Pomey 2011:28). La concepción refiere a la definición de los siguientes tres cuestiones fundamentales: 1) una estructura capaz de mantenerse a flote y resistir los esfuerzos mecánicos a los que estará sometida durante su uso; 2) en íntima relación con lo anterior, la forma del casco, que influirá notablemente la velocidad y maniobrabilidad del barco —aspectos de crucial importancia en las naves de guerra— y 3) en razón del uso al que se destinará la nave, los medios de propulsión y maniobra. Las decisiones en torno al establecimiento de cada uno de estos aspectos dependerán de las relaciones que mantienen entre sí, según sus características. La realización, por otro lado, comprende múltiples actividades, tales como la adquisición de los materiales, la elaboración de las diferentes piezas del barco y la construcción misma de este último, que constituye la operación más compleja de todas. Esta instancia, inmediata ulterior a la fase de concepción, es de hecho su extensión práctica. Así, los principios y métodos de construcción están relacionados con la una y la otra. Tal como destacó aquel autor, un mismo concepto puede dar lugar a diversos resultados, según las situaciones. Las evidencias recuperadas de los sitios arqueológicos, cada vez más numerosas, son prueba de ello (Pomey 2011). Resta por el momento destacar que:

“...la construcción y el empleo de un barco, cualquiera sea su complejidad, representa para la sociedad que lleva a cabo el emprendimiento un esfuerzo considerable en términos de saber hacer, medios técnicos, abastecimiento y desarrollo de materiales. Y en términos de organización social y política, implica la conjunción, coordinación y aplicación de los medios necesarios” (Pomey 2011:27).

Esta frase deja entrever la interrelación de muchas de las cuestiones antes listadas y, en consecuencia, la importancia que ha tenido el ámbito naval dentro de la sociedad moderna. Ahora veremos cómo podemos abordar el estudio de esta materialidad desde la arqueometría.

LOS MATERIALES Y SU ANÁLISIS: LA ARQUEOMETRÍA²¹

Potencial heurístico de una perspectiva interdisciplinaria

La Arqueología actualmente requiere, y también se ve solicitada por, diversos campos del saber. El estudio de los restos materiales del pasado, puerta de acceso al mundo socio-cultural en el que estuvieron inmersos, se ha beneficiado ampliamente de ciertos conocimientos, métodos e instrumental de análisis específicos brindados por disciplinas y especialidades de las denominadas Ciencias naturales (físico-químicas y biológicas) y exactas aplicadas. Ello ha permitido contar con medios sistemáticos para recolectar, analizar e interpretar información sobre los restos materiales; por extensión, fue posible abordar ciertas temáticas desde distintos ángulos, ampliar y profundizar el conocimiento que se tenía acerca de ellas. Dentro de este contexto se constituyó la arqueometría (Wells 2014).²² Los resultados alcanzados en este campo (véase Martini et al. 2004; Edwards y Vandenabeele 2012; entre otros), son prueba fehaciente del creciente esfuerzo para trascender los atrincheramientos disciplinares e integrar diversas perspectivas de análisis en la investigación de una realidad que, por sus características, no es posible de ser estudiada de manera exhaustiva desde la óptica de un único ámbito del conocimiento.²³

²¹ Parte del contenido de esta sección fue publicado bajo el título “A Brief Overview of Archaeometric Studies in Historical Maritime Archaeology: Some Contributions from Argentina” en el boletín de la Society for Archaeological Sciences (Ciarlo 2013).

²² El término *archaeometry* fue acuñado por Christopher Hawkes a principios de la década de 1950. En el ámbito anglosajón, también se emplea como equivalente *archaeological science*.

²³ Las desventajas aparejadas a una excesiva segmentación de las diferentes disciplinas y especialidades, debido a las dificultades que implica dividir una realidad que no se limita con

Los estudios arqueométricos han proporcionado valiosa información sobre las características de diversos tipos de artefactos y otros restos de carácter arqueológico. Hasta hace un par de décadas, los datos obtenidos fueron utilizados principalmente para dar respuesta a aspectos relacionados con: datación, prospección de los sitios, función y uso de los objetos, procedencia de los materiales y evaluación de los métodos de manufactura empleados (véase Ehrenreich 1995). Desde entonces, los tópicos de investigación y los materiales analizados se han expandido considerablemente, incluyendo análisis sobre alimentación y salud, circulación de artefactos, autenticación de piezas, procesos de formación de sitio, reconstrucciones paleoambientales, y temas vinculados con la complejidad social y las identidades culturales. Asimismo, se amplió la escala de los análisis, a la vez que se mejoraron algunos métodos e instrumental de análisis y se incorporaron otros nuevos.

La interrelación entre los especialistas también se tornó cada vez más fluida. Gracias a ello, a lo largo del tiempo fue posible utilizar la información específica de los análisis para lograr una mejor comprensión —o aproximación al conocimiento— de diversos aspectos del comportamiento humano, desde antaño hasta tiempos recientes. A este respecto, tal como Jones sostuvo:

“Si asumimos que un enfoque en la materialidad coloca las cualidades materiales de los artefactos en el centro de una red que vincula cuestiones relativas a las relaciones sociales, la simbolización, la interacción física con el medio ambiente y la subsistencia, entonces tenemos una herramienta de análisis muy potente” (Jones 2004:336).

Las fronteras de la arqueometría se presentan cada día más distantes. El amplio rango de métodos e instrumental de análisis disponibles para el estudio de artefactos, las actividades de campo y el tratamiento de los materiales luego de la excavación; las diversas reuniones internacionales, simposios y publicaciones científicas; y el progresivo número de profesionales, en particular del ámbito arqueológico, que integran algunos de estos medios para resolver problemas de

exclusividad a un ámbito específico, fueron reconocidas en varias oportunidades (véase Cochran y Beaudry 2006, para un análisis en el contexto de la arqueología histórica).

investigación, son prueba de ello. Asimismo, estos límites parecen no estar bien definidos. Existen otras disciplinas o especialidades que se han beneficiado de los resultados de la caracterización —en especial cuando se utilizan medios de análisis no destructivos— de objetos pertenecientes al patrimonio cultural. Tal es el caso de los trabajos de conservación (registro, limpieza y estabilización) y restauración desarrollados en museos y sitios arqueológicos. En algunos casos, este tipo de estudios han contribuido al conocimiento de las propiedades y el comportamiento de los materiales bajo ciertas condiciones ambientales, por lo que también constituyen una fuente de información útil en el campo de la ciencia de materiales.

Actualmente es ampliamente reconocida la relevancia que tiene un acercamiento interdisciplinar a lo largo de todo el proceso de investigación, desde la instancia de selección de muestras hasta la de interpretación de los resultados obtenidos a partir de la aplicación de métodos e instrumental de análisis específicos.²⁴ La cuestión fundamental, en definitiva, ha sido mantener la capacidad de combinar esferas de conocimientos y fuentes de información diferentes, pero concomitantes, a fin de obtener una visión más comprehensiva y detallada de los temas bajo estudio. No se trata, empero, de recuperar un espíritu enciclopedista (aunque es inevitable abreviar en cierta formación de tipo generalista).²⁵ Antes, se trata de abrir las líneas de comunicación entre diferentes esferas de conocimiento, que a lo largo de la historia de la ciencia moderna fueron adquiriendo un carácter más especializado.

²⁴ Las investigaciones adoptaron en un principio la forma de contratación de servicios a terceros, siguiendo una modalidad de investigación multidisciplinar. Con los años, algunos trabajos fueron adquiriendo una modalidad de tipo interdisciplinaria, que se fundamenta pero trasciende la sola aquiescencia entre los especialistas. Asociada a esta segunda modalidad de trabajo se encuentra una mayor inteligibilidad entre los investigadores, que supone el diálogo fluido y aprendizaje mutuo de materias ajenas a las respectivas especialidades. Las consecuencias positivas con relación a la planificación y realización de los estudios, así como con respecto a la interpretación de los resultados obtenidos, son notorias. En la actualidad, la situación parece estar signada por la coexistencia de ambas modalidades de investigación.

²⁵ Pollard y Bray insistieron en la necesidad de que los arqueólogos cuenten con cierta formación general sobre otras disciplinas, que redunde en la posibilidad de alcanzar un lenguaje común (y ello vale para el resto de los especialistas). Utilizando como ejemplo a la geoquímica, dijeron que la clave está en volverse competente en los conocimientos de la geología y la química que sean relevantes para el campo interdisciplinario. Algo semejante ocurre en el caso de la arqueometría (Pollard y Bray 2007:256).

Alcances y limitaciones de los estudios de caracterización

La información obtenida de la caracterización de los materiales —aquí nos referiremos en particular a aquella vinculada con los artefactos metálicos, aunque muchas de las consideraciones son también válidas en otros casos— está a su vez relacionada con otros factores, tales como los conocimientos científico-técnicos de la época, la tradición metalúrgica imperante, las decisiones del fabricante y las condiciones económicas, por mencionar algunos asociados al ámbito de la producción. Varias de las cuestiones anteriores pueden encontrarse reflejadas de algún modo en las características microestructurales de los materiales (véase más abajo), por lo que el potencial explicativo de los datos alcanzados estará condicionado por el análisis que se haga de ellos. El panorama se diversifica y complejiza a medida que el análisis se aleja de aquel resultado específico. Es necesario entonces articular perspectivas e incorporar información de diversa índole. Al respecto, la aplicación de los medios antes citados debe estar siempre en concierto con los fines de la investigación arqueológica; ambos son, como bien sostuvo Jones, analíticamente inseparables (Jones, A. 2004).²⁶ Es en el carácter interdisciplinario donde yace el mayor potencial de los resultados obtenidos por intermedio de estos estudios.

Entonces ¿cuál es el alcance de estos análisis, a los que tanta importancia se le suele otorgar? Más allá de la información primaria que es posible derivar de ellos ¿cómo establecer el salto hacia la comprensión o explicación de otros aspectos del ámbito sociocultural en el que estuvieron inmersos los objetos y que, en una primera instancia, no aparentan estar relacionados en absoluto? Las limitaciones en torno a la capacidad explicativa de los datos se relacionan con su propia especificidad, pero fundamentalmente con la manera en que estos se utilizan para dar respuesta a interrogantes antropológicos, arqueológicos e históricos, entre otros. Como bien expresó González: “...los más sofisticados análisis de laboratorio a

²⁶ Existe una estrecha vinculación entre la selección y aplicación de ciertas técnicas e instrumental de análisis, los materiales bajo estudio y los objetivos de investigación, por lo que deben tenerse en cuenta principalmente: el tipo de información requerida; la integridad y estado de conservación de los objetos, así como la cantidad de muestra requerida; las posibilidades y limitaciones en cuanto a la información suministrada por cada medio de análisis; los efectos de estos sobre la integridad de las piezas; la cantidad y variabilidad de artefactos bajo estudio; y los costes económicos de los estudios.

que puedan someterse los materiales (...) serán sólo anecdóticos, si no son planificados para esclarecer interrogantes antropológicos” (González 2004:387). En este sentido, los acercamientos interdisciplinarios han permitido superar esta situación, integrando diferentes fuentes de información y enfoques teóricos concomitantes.

En vista de los logros alcanzados, se presenta como incuestionable la utilidad de los análisis específicos, que en muchos casos han brindado información acerca de aspectos antes inadvertidos. No obstante, por sí solos constituyen únicamente un medio para conocer ciertas características físico-químicas de los materiales tal como se encuentran hoy en día. Muchas de estas, en efecto, estarán asociadas de algún modo con el quehacer humano pasado, y en consecuencia podrían ser significativas para estudiar diversos aspectos relacionados con este último. Aquellas cualidades son centrales para la forma en que se utiliza y hace significativa la cultura material; en definitiva, la meta de los estudios de caracterización es comprender cómo dichas propiedades estuvieron relacionadas con la vida social de las personas (Jones, A. 2004).

Por ello, se trata de establecer un puente significativo entre datos que, en principio, pueden considerarse primordialmente técnicos (i.e. propiedades físico-químicas de los metales) con aspectos socioculturales que estuvieron de algún modo involucrados en la configuración particular de dichos materiales y que resultan de interés arqueológico. Los datos derivados de los análisis son parte de una investigación que propende, junto con otras fuentes de información, realizar un aporte al conocimiento del pasado de las personas, que hicieron de aquellos objetos un componente integral de sus vidas. Objetos y sujetos no existen como entes estancos, sino que su relación ha sido siempre indisoluble.

Sobre la base de una revisión de diversos trabajos efectuados en el país en materia de análisis de objetos metálicos de sitios históricos, entre estos de naufragios (véase más abajo), es posible advertir que a partir de los datos alcanzados por lo general se han seguido dos tipos de aproximaciones. En una primera instancia, usualmente se realiza un razonamiento deductivo. Se establece una vinculación entre ciertas características del material (e.g. estructura de los granos, organización de las inclusiones no metálicas, presencia de una o varias fases, composición de la aleación y dureza) y los procesos termomecánicos,

corrosivos, etc., que les otorgaron tal conformación específica (e.g. temperatura alcanzada, velocidad de enfriamiento y grado de deformación). Ello se traduce, a su vez, en información significativa acerca de determinadas prácticas, en función del conocimiento actual, teórico y empírico, sobre metalurgia. Al respecto, es posible dar cuenta con detalle y precisión de las características de los métodos involucrados en la producción de artefactos.

Para circunscribir temporal y espacialmente los materiales analizados, a la instancia anterior suele sucederle una de diferente cariz. Esta se identifica por un razonamiento analógico (directo), en el que se toma en consideración de modo integral la información histórica y/o arqueológica disponible acerca de determinadas cuestiones asociadas a cada sitio —de allí la relevancia de estudiar materiales para los que se conoce su contexto de procedencia—, así como a los contextos de obtención de los minerales, producción y uso de artefactos en el pasado. En esta instancia se reconoce cierta correspondencia entre dichas transformaciones —y, siguiendo el ejemplo anterior, las características del proceso de producción— por un lado, y determinadas prácticas, dentro de un contexto sociocultural particular, por el otro. El establecimiento de estos aspectos es de carácter relativo; a diferencia de la mayoría de las relaciones que, al menos en teoría, se fundamentan en el comportamiento de los materiales frente a ciertos estímulos físico-químicos. El conocimiento alcanzado acerca de la metalurgia y las prácticas a esta asociadas dependerá entonces de condicionantes tales como los interrogantes planteados (i.e. la orientación y alcance de la investigación) y la modalidad de trabajo entre los especialistas.

Consideremos brevemente un ejemplo (Ciarlo et al. 2015a). En 1999, durante las excavaciones en el sector de popa de la *Swift*, se recuperaron seis discos metálicos, preliminarmente catalogados como monedas. En función de los planos originales del buque, la ubicación del hallazgo parece corresponder a una de las cabinas localizadas en la cubierta inferior, que pertenecían a los oficiales. Tres medios peniques y un comino (cuarto de penique) se analizaron superficialmente mediante microscopía electrónica de barrido acoplada con un sistema de espectroscopía de rayos-X dispersiva en energía (SEM-EDS) y fluorescencia de rayos-X de dispersión por longitud de onda (WDXRF). Estos estudios permitieron, de modo no destructivo, determinar una serie de características diagnósticas (la

composición de la aleación y la microestructura). Sobre la base de estos aspectos, se evaluó la calidad de las monedas. Según los estándares de la Casa de Moneda británica, durante los reinados de Jorge II (1727-1760) y Jorge III (1760-1820), los medios peniques y cominos se fabricaban mediante planchas laminadas de cobre (puro), a partir de las cuales se cortaban los discos (cospeles), que luego eran acuñados. El comino fue realizado en cobre sin alear, según lo esperado. En cambio, los tres medios peniques analizados poseen una microestructura dendrítica, típica de un proceso de solidificación, y una composición química de cobre y otros elementos minoritarios (estaño, zinc, hierro y plomo), en diferentes cantidades. Estos datos permitieron concluir que estas monedas fueron hechas con una aleación mayoritaria de cobre por medio de fundición y colada en molde. Tanto la materia prima como el método empleados no cumplen con los estándares oficiales de la época, y por ende se concluyó que se trataba de falsificaciones. La presencia de este tipo de monedas en un barco de la Real Armada Británica se analizó a la luz de la información disponible acerca del contexto de la época, particularmente en lo relativo al uso cotidiano de numerario, las reglamentaciones vigentes con relación a su producción, las prácticas de falsificación de monedas de cobre y el uso extendido de estos productos en Inglaterra y las colonias.

Aquí entendemos que es en la búsqueda de dar respuesta a las cuestiones antes mencionadas donde los análisis metalúrgicos y sus resultados se hallan en concierto con los fines de la investigación arqueológica. En el caso de los estudios de materiales provenientes de sitios históricos de Argentina se aprecia una tendencia general a cumplir con esta premisa. No obstante, muchas veces este objetivo ha quedado parcialmente soslayado por el carácter sumamente específico de algunos trabajos, los cuales se han focalizado en diversas cuestiones técnicas relativas a los objetos.

La Arqueometría y la Arqueología marítima

Anteriormente mencionamos que la Arqueología marítima es aquella especialidad que trata sobre el estudio de la vida del ser humano asociada a los entornos acuáticos, así como a los escenarios en tierra a estos vinculados, por medio de los

restos materiales y otros tipos de evidencia (e.g. fuentes escritas y orales), y que entre los temas que recibieron más atención a lo largo de los años se destaca la navegación marítima, en particular los barcos. Este campo del conocimiento, ya maduro, busca actualmente expandir sus horizontes hacia otras áreas poco exploradas (Catsambis et al. 2011:xiii).

Esta última afirmación tiene particular fuerza en el caso de la arqueometría y sus múltiples aplicaciones en los sitios bajo estudio (e.g. naufragios, puertos, astilleros, baterías militares y asentamientos costeros, entre otros). Las contribuciones realizadas hasta la fecha abarcan diversos aspectos de la práctica de investigación y preservación de los bienes arqueológicos, a saber: la prospección y relevamiento de los sitios, el reconocimiento de artefactos, la identificación de los materiales y métodos de manufactura empleados, la adscripción temporal y espacial de los restos, y los tratamientos de conservación *in situ* y en el laboratorio.

La mayoría de las aplicaciones arqueométricas que se utilizan corrientemente en Arqueología marítima (e.g. los equipos de sensoramiento remoto, los sistemas de computación y posicionamiento, y aquellas herramientas que se tomaron prestadas de otras disciplinas científicas)²⁷ no fueron desarrolladas en un principio con miras a resolver los problemas específicos de este ámbito. Por otra parte, si bien muchos de estos recursos han sido ampliamente implementados para el estudio de artefactos procedentes de sitios en tierra, los materiales de procedencia subacuática han presentado algunos desafíos. Esto puede apreciarse especialmente en el caso los métodos e instrumental utilizados en conservación, que presentan una alta especificidad debido a las características particulares asociadas al ambiente de depositación de los restos. Entre estos, podemos mencionar el proceso de liofilización —método de secado por sublimación, en una cámara de vacío— usado para preservar diversos materiales de origen orgánico (e.g. maderas, cueros y fibras) que se encuentran saturados de agua (véase Sierra 2003:254-261) y el tratamiento mediante fluidos subcríticos, de aplicación más reciente, empleado para la estabilización de artefactos de hierro concrecionados (véase González-Pereyra et al. 2010).

²⁷ El libro *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology* (Catsambis et al. 2011) cuenta con un anexo en el que se mencionan las técnicas de análisis y datación, según el tipo de material, más usuales dentro de esta especialidad.

El creciente número de estudios arqueométricos emprendidos en las últimas décadas para analizar diferentes cuestiones relativas la vida marítima (*lato sensu*) está reflejado en las numerosas publicaciones, reuniones científicas y cursos que cubren en alguna medida este tipo de investigaciones, tanto a nivel nacional como internacional. Pese a la extensa labor conducida, existe un promisorio potencial por ser explotado. Al respecto, sigue siendo fundamental hacer hincapié en la necesidad de utilizar la información analítica para resolver problemáticas de índole arqueológica, es decir con miras a profundizar en el conocimiento de las sociedades pasadas. En este sentido, la arqueometría puede contribuir a superar la dicotomía de la que hablamos más arriba con relación a las investigaciones en Arqueología marítima.

Breve reseña de las investigaciones en Argentina

En Argentina, las investigaciones arqueométricas han ganado un espacio notable (y especial visibilidad) desde comienzos. Evidencia de ello son los congresos y jornadas principados y celebrados periódicamente desde entonces: el *Congreso Argentino de Arqueometría* (desde 2005, cada bienio), las *Jornadas Nacionales para el Estudios de Bienes Culturales* (2007, 2009 y 2011) y las *Jornadas sobre avances en Técnicas Analíticas aplicadas al estudio de Materiales en Arte y Arqueología* (2008 y 2010). Estas reuniones estuvieron dedicadas a la presentación de trabajos encaminados en pos del conocimiento, conservación, gestión y valorización del patrimonio cultural arqueológico, así como del histórico y artístico.

El impulso que recibieron las investigaciones en los últimos años sugiere la existencia de una retroalimentación positiva entre la tendencia general antes señalada y este tipo de encuentros, que ha redundado en un conocimiento más detallado y profundo de los aspectos analizados (véase Pifferetti y Bolmaro 2007; Palacios et al. 2009; Bertolino et al. 2010). Esta situación es significativa, en especial si se tiene en cuenta el desarrollo general de la arqueometría en Latinoamérica (véase Vidal 2009, para una discusión sobre los principales temas y estudios llevados a cabo durante las últimas dos décadas), con la que parece haber

ido de la mano. Las investigaciones de tipo interdisciplinario dentro de la arqueología marítima histórica no han quedado al margen de esta corriente.

Lo anterior se enmarca dentro del propio devenir de la Arqueología subacuática en el país. El desarrollo de esta especialidad se sitúa hacia mediados de la década de 1990, momento en que se crean el Programa de Arqueología Subacuática (PROAS) del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano (INAPL) y el Área de Arqueología Subacuática (actualmente Centro de Estudios en Arqueología Subacuática Argentina, CEASA) de la Escuela de Antropología de la Universidad Nacional de Rosario (UNR). Lo que distingue a las investigaciones de estos equipos, frente a las actividades realizadas con anterioridad, es: 1) la participación de arqueólogos-buzos en la dirección de los proyectos y en las actividades emprendidas en los sitios; y 2) la estrecha vinculación con otras disciplinas y especialidades, que les ha conferido un carácter multi e interdisciplinario. Dentro de este ámbito, la mayoría de los proyectos estuvieron vinculados con sitios históricos, especialmente restos de barcos (véase Elkin 2007, 2008, 2011; Ciarlo 2008).

Desde entonces, se incorporaron progresivamente los análisis arqueométricos de artefactos provenientes de naufragios entre los siglos XVII y XX. En particular, las investigaciones con restos de metal y madera, realizadas en estrecha relación con especialistas en Biología, Ingeniería y Química de diferentes instituciones nacionales de investigación (e.g. la Universidad de Buenos Aires, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y la Comisión Nacional de Energía Atómica), destacan en número (véase Ciarlo 2015a; Elkin 2007; Elkin et al. 2012; Murray et al. 2007). Un sitio en particular atrajo la mayor atención respecto a los análisis arqueométricos: la corbeta de guerra *HMS Swift* (1770). Los materiales recuperados de este sitio, sobre el que volveremos más adelante, estuvieron sujetos a una amplia gama de análisis (véase Elkin et al. 2007, 2011).

Los análisis de restos de madera de naufragios han estado focalizados en la identificación a nivel específico por medio de la caracterización anatómica y estructural de las muestras. Ello permitió, en algunos casos, dar cuenta de su distribución regional aproximada. Los datos recabados, junto con otras fuentes de información, se utilizaron para estudiar aspectos de la arquitectura y el posible lugar de procedencia o construcción de los barcos (e.g. Marconetto et al. 2007;

Murray et al. 2009), así como los objetos personales y otros ítems llevados a bordo (e.g. Grosso 2013; véase también Elkin et al. 2011). En ocasiones, los resultados obtenidos arrojaron luz sobre los recorridos (reparaciones) y derrotero seguido por un barco (e.g. Castro y Aldazabal 2007) y la relación entre los restos de canoas y las poblaciones indígenas locales (e.g. Aldazabal y Castro 2003). Desde hace unos años se están incorporando los estudios dendrocronológicos como una herramienta valiosa para datar las maderas recuperadas de naufragios (e.g. Mundo 2013).

Con relación a lo anterior, podemos destacar los estudios realizados en la *Swift* sobre procesos naturales de formación de sitio, pioneros en el contexto de la arqueología marítima latinoamericana. Las investigaciones estuvieron centradas en la identificación y la dinámica de comportamiento de las comunidades de organismos incrustantes (*biofouling*, en inglés) y de perforantes de madera, así como en la caracterización del sustrato sedimentario. Los estudios, que incluyeron experimentaciones *in situ*, estuvieron destinados a evaluar los efectos físicos y químicos de estos agentes naturales sobre el sitio, con relación a la conservación diferencial y la distribución espacial de los restos (e.g. Bastida et al. 2004, 2008; Grosso 2008). Este tipo de estudios permite contar con una mejor comprensión de los agentes y procesos post-depositacionales que actuaron y transformaron los barcos (véase Muckelroy 1978; Gibbs 2006; entre otros) y, a partir de ello, alcanzar una mayor precisión en las interpretaciones arqueológicas (e.g. Grosso et al. 2013).

Recientemente, varias herramientas analíticas fueron aplicadas por primera vez al estudio del patrimonio cultural marítimo. Podemos mencionar los trabajos basados en el uso de espectroscopia μ -Raman y fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (Stefaniak et al. 2008), fluorescencia de rayos-X por reflexión total (Vázquez et al. 2010); espectroscopia Raman y espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (Elkin et al. 2012). Estos estudios permitieron identificar diferentes restos orgánicos e inorgánicos y, con la ayuda del contexto arqueológico y la información histórica, su posible función y uso a bordo. Hasta la fecha, estos resultados se circunscriben a un reducido número de muestras (procedentes de la *Swift*) pero han probado tener un futuro promisorio.

El libro que compila los resultados de las investigaciones arqueológicas desarrolladas en el sitio *Swift* durante más de una década (Elkin et al. 2011), posee una sección especial dedicada a los siguientes estudios especializados:

caracterización de los artefactos de metal (De Rosa et al.), madera (Castro y Murray) y vidrio (Lavat y Ordóñez); análisis bioarqueológico de los restos humanos (Barrientos et al.); investigación de los sedimentos y los procesos de formación de sitio (Bastida et al.); identificación taxonómica de los restos botánicos (Picca); y el análisis de otros materiales orgánicos e inorgánicos (Edwards y Maier; Rodríguez; Vázquez et al.). Los resultados de estos estudios pueden apreciarse integrados a lo largo del cuerpo del texto, donde contribuyen a las diferentes líneas de investigación del proyecto. Hasta el momento, se trata de uno de los trabajos más completos de este tipo en Latinoamérica.

Dentro de este sucinto panorama de las investigaciones arqueométricas en naufragios dentro del país debemos ubicar a los estudios de caracterización de metales, que constituyen una de las áreas más desarrolladas durante los últimos quince años. Dedicaremos parte de la siguiente sección a describir los principales trabajos realizados, tanto a nivel nacional como internacional, debido a la importancia que estos tienen para la presente investigación.

Lo expresado en este apartado nos permite esbozar algunas consideraciones generales. Esta clase de estudios ha demostrado que tiene un gran potencial dentro del campo de investigación. Las principales contribuciones se realizaron en torno a los siguientes temas y áreas: identificación de la función y uso de artefactos, evaluación de aspectos tecnológicos (principalmente materiales utilizados y métodos de fabricación), prospección y relevamiento, procesos de formación de sitio, procedencia y datación de los restos. Algunos sitios y temas de investigación se destacan por haber sido abordados mediante la aplicación de diversos medios de análisis, en ocasiones sentando precedente a nivel regional. Siguiendo esta tendencia de trabajo, consideramos que los estudios realizados deben extenderse a otros naufragios, a la vez que es necesario explorar en mayor profundidad otros métodos e instrumental de análisis disponibles.

Gould afirmó que “no hay una respuesta definitiva o último nivel de comprensión de la realidad del pasado humano (...), sino sólo algunas relativamente mejores” (Gould 2011:61). En este sentido, los análisis arqueométricos realizadas bajo un programa de investigación bien definido son una excelente manera de contribuir con el conocimiento de nuestra historia. Yace por delante un largo y próspero camino hacia el conocimiento y la preservación del

patrimonio cultural marítimo. Las claves del éxito parecen estar en la comunicación e inclusión entre los especialistas y en la complementación de sus enfoques.

LOS METALES DEL PASADO: LA ARQUEOMETALURGIA²⁸

Nociones introductorias

Entre las primeras especialidades que se organizaron en torno a la arqueometría, se encontraba la arqueometalurgia, que pronto habría de convertirse en un campo del conocimiento por derecho propio.²⁹ Esta última se ocupa del estudio de la metalurgia pasada, desde sus inicios hasta tiempos recientes, por intermedio del análisis de restos materiales —no necesariamente de metal— hallados en diversos contextos arqueológicos, relacionados con actividades extractivas, de producción, circulación y uso de objetos metálicos. Las investigaciones desarrolladas dentro de este campo se valen del uso de conocimientos, métodos e instrumental de análisis específicos, así como de otras fuentes de evidencia disponibles, e.g. documentación escrita y oral (véase Bayley et al. 2001; Wayman 2004; Rehren y Pernicka 2008; y las referencias citadas en estos trabajos).

Uno de los puntos centrales de los estudios arqueometalúrgicos es la información que pueden brindar la microestructura y composición química de los artefactos. La estructura de los metales comprende características de varias magnitudes, desde el nivel atómico hasta el del objeto mismo (e.g., dislocaciones, granos, inclusiones, maclas, microsegregaciones, rechupes, poros, etc.). Usualmente, resultan de interés aspectos que se encuentran en diferentes niveles. Por ello, es necesario utilizar diferentes técnicas de observación (AA.VV. 2004a:24-26). En particular, los análisis específicos permiten dar cuenta de la variabilidad presente en las muestras en términos de los elementos constitutivos, los procesos

²⁸ La información relativa a las investigaciones en Argentina fue presentada recientemente en el trabajo titulado “Arqueometalurgia de naufragios históricos en Argentina: estado de la cuestión y perspectivas futuras” (Ciarlo 2015a).

²⁹ Pollard (2013) realizó un breve pero interesante estudio sobre los antecedentes de esta especialidad, que hunde sus raíces en los trabajos de análisis de artefactos arqueológicos hacia finales del siglo XVIII.

termomecánicos y corrosivos que afectaron al objeto, etc. Estos datos, evaluados a la luz de otras fuentes de información, pueden traducirse en datos significativos sobre una parte de la historia de las piezas (e.g. fabricación, procedencia, uso, deterioro, etc.). Por extensión, revisten especial interés como medios para responder a diversos interrogantes arqueológicos e históricos, relativos a la explotación de recursos, los procedimientos y herramientas de trabajo, los conocimientos sobre las propiedades de los metales, la calidad de los productos, las elecciones técnicas, la circulación de objetos, las dinámicas de innovación, los procesos de formación de sitio, entre otros aspectos.³⁰

Entre los numerosos medios de caracterización de artefactos metálicos utilizados, podemos mencionar los siguientes: metalografía mediante microscopía óptica (OM/LM), microscopía electrónica de barrido (SEM) y electrónica de transmisión (TEM); radiografía (XR); ensayo de dureza; espectroscopia de rayos-X dispersiva en energía (EDS) y en longitud de onda (WDXRS); difracción de rayos-X (XRD); fluorescencia de rayos-X (XRF); espectroscopia de emisión óptica (OES); espectrometría de absorción atómica (AAS); espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS); determinación de isótopos estables de plomo; activación neutrónica (NAA); emisión de rayos-X inducida por protones (PIXE); y activación de protones (PAA) (véase Scott 1991; Whan 1998; Bayley et al. 2001; González 2004; Edwards y Vandenabeele 2012). Varios de estos también han sido implementados en nuestro país (véase más abajo).

La metalografía, en particular, ha ocupado un lugar destacado para el análisis microestructural de los materiales arqueológicos. Esta consiste en la observación de la microestructura de una pieza por medio de un microscopio óptico metalográfico o electrónico de barrido, con el fin de determinar el tipo y forma de los microconstituyentes del material. Las proporciones, formas, color y configuración en que estos se presentan están íntimamente relacionados con su composición y propiedades, y son el reflejo indeleble de algunas de las

³⁰ El estudio de los objetos metálicos procedentes de naufragios también puede contribuir a otras áreas del conocimiento. Entre los puntos de interés para la Ciencia de materiales, las colecciones de monedas de plata y oro constituyen un medio privilegiado para analizar el comportamiento de los metales nobles frente a ciertas condiciones de sollicitación a largo plazo (MacLeod 2002). Las aportaciones también se extienden a la industria actual, por ejemplo en el área de la resistencia de los contenedores de residuos nucleares depositados en el lecho marino (Tylecote 1977).

transformaciones que sufrió a lo largo del tiempo (véase Scott 1991; Starley 1995; Summer Institute in Material Science and Material Culture 2003). La metalografía permite reconstruir una secuencia de eventos, relacionados con diferentes instancias en la historia de vida los objetos, y no simplemente describir una imagen estática (Rehren y Pernicka 2008:239). Se trata, como bien sostuvo Wayman, de poder leer el relato que ha quedado codificado en la composición y microestructura de cada objeto (Wayman 2004:468).

Las muestras seleccionadas este tipo de análisis requieren de una preparación previa, que tiene por objeto revelar la estructura del material a ser observada.³¹ Por lo general, se emplea un microscopio óptico de luz reflejada dentro de un rango de magnificación entre ca. 50x y 1000x (véase Goodhew et al. 2004; Vander Voort 2004). El SEM permite ampliar la información suministrada obtenida por el medio anterior. Las muestras pueden observarse a más aumentos, la imagen generada posee mayor profundidad de campo y además es posible apreciar diferencias en la composición química por discrepancias de contraste (véase Exner y Weinbruch 2004; Flewitt y Wild 1994). En el siguiente capítulo retomaremos esta cuestión y daremos cuenta de los análisis desarrollados en esta investigación.

Caracterización de artefactos metálicos de naufragios

Antecedentes y recientes investigaciones internacionales

En el caso de los naufragios históricos, los estudios de caracterización de metales son sumo interés para el conocimiento de aspectos relacionados con cuestiones específicas del ámbito naval (e.g. construcción, equipamiento y armamento de los barcos) y con otras más allá de este último, i.e. de la sociedad del momento.

³¹ Una alternativa consiste en pulir la superficie de la pieza y analizarla de forma directa, o bien realizar el estudio a partir de una réplica (en negativo) que se obtiene de la superficie bajo análisis mediante un procedimiento especial. Este procedimiento se encuentra en consonancia con los análisis de tipo no destructivo, que han ganado lugar a lo largo del tiempo debido a que resultan menos invasivos para los objetos. Estos últimos suelen limitarse a la superficie, que normalmente es la más afectada por el deterioro. Teniendo en cuenta lo anterior, notó Berger, los resultados obtenidos pueden dar lugar a interpretaciones imprecisas o erróneas, y por ello no debe prescindirse de aquellos análisis que requieren de una muestra (Berger 2011:152,153).

En particular, los trabajos basados en la aplicación de diversos métodos e instrumental analítico comenzaron a realizarse con cierta regularidad desde principios de la década de 1980, y continúan en la actualidad (e.g. Samuels 1980, 1983, 1992; MacLeod 1985, 1994; Sinko y Brooks 1992; MacLeod y Pitrun 1996; Molleda Sánchez 1997; Viduka y Ness 2004; Bethencourt 2008/9; Correll et al. 2009; McAllister 2012; Bethencourt et al. 2013; Mentovich et al. 2010; Ashkenazi et al. 2011, 2014; Birch et al. 2014; Cohen et al. 2015). Con respecto al foco de la presente investigación, estos trabajos han contribuido con la adscripción temporal y espacial de los materiales —como una de las vías de evaluación e investigación de los sitios—,³² la identificación de varias características técnicas de los objetos (e.g. métodos de manufactura y aleaciones empleadas) y el conocimiento de ciertos aspectos del contexto económico, político y sociocultural de la época.

La mayor parte de los estudios de caracterización practicados sobre restos metálicos provenientes de naufragios se han concentrado en uno o pocos sitios, y las interpretaciones efectuadas a partir de estos han estado centradas en los aspectos específicos antes mencionados. Aún son pocos los casos en los que se ha intentado dar respuesta a otros interrogantes sobre la metalurgia naval de la época, más allá de los sitios en particular. El panorama general sugiere que las investigaciones enfocadas en la caracterización de los materiales metálicos provenientes de naufragios aún se hallan en una instancia temprana de desarrollo. Consideramos que esta información, vista de modo integral, puede ser utilizada además para contribuir al conocimiento de los cambios ocurridos a lo largo del período objeto de este trabajo, así como de otros aspectos que trascienden los aspectos tecnológicos de cada barco en particular.

Los trabajos del Grupo de Arqueometalurgia (FI-UBA)

Los trabajos de caracterización de metales en el contexto nacional son aún más recientes, y se enmarcan dentro de la tendencia general mencionada al respecto

³² La información obtenida acerca de estos aspectos, sobre todo en el caso de la adscripción temporal, por lo general no deriva directamente de los análisis, sino de la interpretación de los datos en función de registros históricos y/o arqueológicos de referencia.

de los estudios arqueométricos en general.³³ En el caso de los sitios arqueológicos de período histórico, durante los últimos quince años cada vez más personas han manifestado un hondo interés por integrar los estudios arqueometalúrgicos dentro de diversos proyectos de investigación. Existen algunos antecedentes relevantes con relación a la aplicación de métodos e instrumental de análisis para el estudio de objetos vinculados con el patrimonio cultural (acervo no arqueológico) y arqueológico de momentos históricos, especialmente con respecto al primero. Sin embargo, hasta los últimos años del siglo xx, estos estudios no se caracterizaron por estar dentro de proyectos de investigación arqueológicos. En general, los trabajos fueron motivados por especialistas provenientes, según su formación académica, de ámbitos que hasta entonces no habían estado formalmente involucrados con la investigación, conservación y divulgación del patrimonio en cuestión. A partir de entonces comenzaron a realizarse estudios que irían presentando una vinculación cada vez más estrecha entre los especialistas de las diversas áreas.

En 2004 se estableció el Grupo de Arqueometalurgia (GAM) bajo la dirección del Ing. Horacio De Rosa, en el Laboratorio de Materiales del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FI-UBA). El equipo, integrado por estudiantes y graduados en Arqueología, Ingeniería, y más tarde con la contribución de especialistas en Física y Química, ha mantenido desde entonces un fuerte énfasis en la integración de las diversas orientaciones. En líneas generales, sus principales objetivos consisten en: a) estudiar artefactos metálicos provenientes de sitios arqueológicos ubicados en diferentes áreas del país; y b) desarrollar y aplicar técnicas de conservación, acordes con cada tipo de material y contexto de proveniencia. Usualmente, los trabajos han formado parte de proyectos de investigación en Arqueología, en la mayoría de los casos dentro del marco de vínculos institucionales.

³³ Al respecto, González (2004) destacó que no se dieron las condiciones para que llegara a conformarse una corriente de estudios sistemáticos en arqueometalurgia, a diferencia de otras partes del mundo, en las que este campo tiene una extensa trayectoria. Durante años, las investigaciones fueron más bien ocasionales y estuvieron focalizadas en estudios descriptivos (análisis morfológico-funcional de las piezas), a veces acompañadas de información sobre composición química. Tampoco hubo muchos intentos de profundizar en cuestiones técnicas, ni en relacionar los aspectos tecnológicos con el contexto socio-histórico. La situación cambió durante el último cuarto del siglo XX y tomó particular impulso desde la década de 1990, sobre todo a partir de los estudios realizados en sitios prehispánicos del Noroeste por aquel autor y su equipo.

Las actividades llevadas a cabo regularmente por el GAM, que hoy en día representan una cuantiosa producción, se focalizan en tres grandes áreas: Arqueología marítima histórica, Arqueología de sitios de frontera —fundamentalmente fortines y sitios de contacto cultural hispano-indígena— y campos de batalla; y Arqueología urbana. Entre los aspectos estudiados, desde una perspectiva multi e interdisciplinaria, y sobre los que se obtuvieron resultados significativos, se pueden destacar los que siguen: a) composición y calidad de materias primas; b) procesos y técnicas de fabricación de artefactos; c) identificación de marcas y huellas de uso; d) cronología relativa y posible lugar de procedencia de los restos; e) análisis de procesos corrosivos y diagnóstico de las piezas; y f) aplicación de tratamientos de conservación. Estas cuestiones responden a objetivos particulares, fundamentalmente de orientación tecnológica, así como a las diferentes líneas de investigación planteadas por los equipos de arqueología vinculados al grupo, en torno a las especialidades anteriores.

Dentro de este ámbito, se incorporaron los estudios de caracterización en las investigaciones con materiales provenientes de naufragios ocurridos a lo largo de la costa atlántica entre los siglos xvii y xx. Parte importante de los trabajos se ha enmarcado dentro de las investigaciones arqueológicas emprendidas por el equipo de investigación del PROAS (e.g. Ciarlo 2006, 2010, 2014a; Ciarlo et al. 2011, 2015a; De Rosa y Ciarlo 2007; De Rosa et al. 2007, 2011, 2015a; Marconetto et al. 2007; Maier et al. 2010) y de la colaboración con otros equipos internacionales (e.g. Ciarlo 2014b, 2015b; Ciarlo et al. 2013, 2014, 2015b, 2015c, 2016; De Rosa et al. 2015b). En menor medida, se realizaron estudios con materiales de otros sitios arqueológicos en el país (e.g. Lorusso et al. 2003; De Rosa y Svoboda 2007; De Rosa et al. 2009, 2012) y colecciones de museos (e.g. Svoboda et al. 2005; Pereyra et al. 2006; De Rosa et al. 2008, 2010). A partir de estos, se ha obtenido información novedosa con respecto a diversas cuestiones de interés, tales como los métodos de fabricación y los materiales utilizados, así como la posible procedencia y época de los restos asociados que no estaban identificados.

Los vestigios que suelen perdurar con mayor frecuencia luego de un naufragio —en especial si se trata de pecios de madera en un área intermareal— consisten en partes estructurales, muchas de las cuales presentan asociados elementos metálicos de fijación (e.g. clavos y pernos). En el país, los estudios

arqueometalúrgicos sobre tecnología naviera han estado concentrados en este tipo de evidencia y, en menor grado, en el análisis de chapas y tachuelas del revestimiento de forro. Versan sobre aspectos tales como la funcionalidad de las piezas, los materiales y métodos de producción empleados, y los conocimientos metalúrgicos de cada época. En estos casos, los análisis tipológicos y de caracterización físico-química se orientaron *prima facie* con el fin de establecer de modo aproximado la adscripción temporal y espacial de los restos asociados, aspectos de suma importancia durante un primer acercamiento a los sitios. Además de estos trabajos, se llevaron a cabo análisis sobre otras clases de objetos. Al respecto, caben mencionar las investigaciones desarrolladas en la *Swift*, que incluyeron el estudio del armamento, la alimentación, la vestimenta, el mobiliario y las pertenencias personales. En un trabajo reciente presentamos una breve reseña cronológica de las investigaciones desarrolladas por el GAM (Ciarlo 2015a). En los capítulos que siguen volveremos sobre algunos de estos y otros estudios, vinculados directamente con el tema de investigación de la tesis.

En términos generales, los trabajos realizados pueden ser agrupados —según la proveniencia de los restos y atendiendo a la orientación y alcance de los estudios— de la siguiente manera:

- i. Estudios de restos aislados (descontextualizados) provenientes de colecciones de museos y hallazgos fortuitos.
- ii. Análisis de artefactos y muestras provenientes de sitios de naufragio singulares, como parte de un proyecto arqueológico.
- iii. Investigación de diversos aspectos de la tecnología naval (relativa a la metalurgia) y la sociedad de la época, sobre la base de la caracterización de materiales de uno o varios naufragios.

Los trabajos englobados dentro de la primera categoría se han enfocado esencialmente en el estudio de ciertas piezas, a partir de sus características formales y físico-químicas. Estos análisis, de carácter puntual y de corto alcance, fueron motivados por diversas razones, entre las que predomina el interés por conocer la posible época y procedencia de los materiales. Usualmente, la meta ha sido precisar algunas cuestiones estrictas (e.g. cómo fue fabricado el artefacto),

que permitieran delimitar de modo aproximado otros aspectos (e.g., en relación con lo anterior, el rango temporal). Estos estudios no suelen extenderse más allá de piezas específicas, a las que se les otorga cierta relevancia en función de su probable relación con un sitio de interés histórico-arqueológico, aunque muchas veces aún no identificado (e.g. los restos de un clavo asociado a una estructura de madera atribuida a la nao *Santiago*, recuperada por un entusiasta particular) o su aparente exclusividad, atractivo estético y/o técnico (e.g. un ancla del Museo Naval de la Nación, hallada de forma fortuita en el Río de la Plata). Dejando a un lado los trabajos solicitados por instituciones vinculadas con el conocimiento, conservación y divulgación del patrimonio cultural, debe tenerse presente que los estudios de artefactos aislados suelen tener una capacidad heurística limitada en el contexto de una investigación.

Estos análisis, conducidos de modo ocasional, han permitido obtener información relativa a las características de los materiales y algunos datos sobre la producción de los objetos, entre los principales aspectos. Sin embargo, a pesar de la aparente utilidad de la información obtenida, el carácter descontextualizado de los materiales —aún cuando estos se encuentran asociados a otros restos— ha sido el denominador común y, por motivos obvios, el principal aspecto negativo. Volviendo al primer ejemplo mencionado en el párrafo anterior, en el mejor de los escenarios los análisis permitirían poner en duda la relación de los restos con el supuesto naufragio o afirmar la existencia de una aproximada coincidencia temporal y/o espacial (de procedencia) entre estos. Cabe mencionar la utilidad que podrían tener estos estudios en el caso de estar orientados hacia la conformación de muestrarios de referencia sobre piezas usualmente halladas en naufragios (e.g. clavos, pernos, anclas). No obstante, este tipo de emprendimientos requieren de una labor sistemática y una proyección a mediano-largo plazo, que no se han formalizado todavía; aún así, quedarían sin resolución los problemas vinculados a la descontextualización de los restos.

La mayoría de los estudios de restos metálicos de naufragios se agrupan dentro de la segunda categoría. En líneas generales, han estado orientados a la caracterización de artefactos, realizada sobre la base de estudios semejantes a los citados arriba. El foco de atención se ha centrado en el estudio de aspectos tecnológicos (e.g. relativos a la producción y el uso), así como en la delimitación

temporal y espacial de los materiales y, por extensión, de los restos a ellos asociados. Sin embargo, a diferencia del caso anterior, se trata de piezas provenientes de sitios que cuentan con información contextual, y que han sido o están siendo estudiados dentro del marco de proyectos de carácter arqueológico, con propósitos que trascienden el estudio y el conocimiento de uno o pocos objetos *per se*.

Dentro de este escenario, el tratamiento y potencial de la información derivada de los análisis en cuestión dependerán en gran medida de las características de cada sitio y de la instancia en que se encuentre la investigación. En general, revisten especial importancia durante una primera etapa, debido a que constituyen una fuente de información potencialmente útil para la identificación y descripción preliminar de un sitio. Los resultados obtenidos, particularmente en lo que concierne a las características físico-químicas de los materiales, son susceptibles de traducirse en datos significativos para el estudio de aspectos tales como las prácticas de obtención y producción de artefactos, los conocimientos científico-técnicos disponibles, la eficacia y el deterioro de los materiales durante su uso y los procesos de innovación a lo largo del tiempo. Igualmente, pueden ser considerados con el fin de ampliar y/o profundizar otras líneas de investigación acerca de los barcos y la multiplicidad de prácticas socioculturales asociadas (e.g. construcción naval, vida a bordo, navegación en distintos tipos de ambientes, viajes de exploración, actividades comerciales y conflictos armados).

En el marco de la experiencia anterior, pueden distinguirse dos situaciones, de acuerdo con la modalidad de trabajo predominante. En un caso, los estudios se ubicaron dentro de un contexto multidisciplinar; mientras que en el otro, se ha perseguido y llegado a construir un ámbito de investigación interdisciplinario. Al respecto, merece la pena señalar que algunas producciones han sido el resultado de un trabajo parcialmente colaborativo, en las que el prefijo *Arqueo-* se ve representado de manera casi exclusiva por la naturaleza de los materiales analizados. Estos estudios suelen hallarse acotados *a priori* por una única perspectiva de análisis, o bien carecen de información contextual relevante. Analizar las circunstancias que subyacen a esta situación excede el propósito de este capítulo. Sin embargo, a la luz de los resultados obtenidos, es evidente la necesidad de continuar promoviendo las actividades de tipo interdisciplinario.

La tercera categoría de trabajos puede considerarse extensión de la anterior, dado que implica fundamentalmente un cambio de escala. En líneas generales, se diferencia de la mayoría de los estudios realizados hasta la fecha en que se trata de investigaciones enfocadas en la integración de múltiples sitios. Tentativamente, se puede afirmar que está relacionada con una instancia del proceso de investigación e, incluso, con una perspectiva teórico-metodológica particular acerca del estudio de naufragios. Recordemos que, como sostuvieron Catsambis, Ford y Hamilton respecto del desarrollo de la Arqueología marítima a nivel mundial, el futuro descansa en la síntesis de la información (Catsambis et al. 2011:xiii). En este caso, debido a la clase de aspectos que se abordan y su alcance, cobra aún mayor relevancia una aproximación como la que aquí se sostiene. En el país, los estudios que cumplen con estas características son relativamente recientes.

Esta tesis, como ya hemos mencionado, se orienta en pos de continuar explorando el potencial que encierran las investigaciones sustentadas en la información procedente de varios sitios y en el trabajo articulado con otros especialistas.



OBJETIVOS, MATERIALES y MÉTODOS de la INVESTIGACIÓN

Este capítulo está dividido en tres partes. En la primera, planteamos los objetivos de la tesis y, a continuación, exponemos una breve reseña histórica y de los trabajos arqueológicos llevados a cabo en los naufragios europeos que seleccionamos como fuentes de evidencia para el análisis de la tecnología naval. En este acápite presentamos de forma sucinta cuestiones de interés relacionadas con el diseño, construcción y modificaciones de los barcos; las acciones bélicas en las que participaron; la localización de los sitios y las actuaciones arqueológicas; los proyectos de investigación; las tareas de relevamiento y excavación; el estado de conservación y principales hallazgos. También hacemos mención de otros sitios arqueológicos, dada su importancia como muestras comparativas. En la segunda sección abordamos varios aspectos metodológicos específicos; puntualmente, nos ocupamos de los siguientes: el sistema de agrupación y clasificación de las piezas (planteamos una ordenación según las siguientes categorías: estructura del casco, equipamiento náutico, armamento, elementos de la jarcia fija y móvil, y accesorios) y el uso de diferentes fuentes de información en Arqueología histórica

(abarcamos la problemática en torno a la subjetividad de los documentos escritos, las pretensiones de objetividad de los materiales arqueológicos, la construcción conceptual de los datos, el análisis individual de la evidencia y las posibilidades de crítica y contraste mutuo). En tercer lugar, damos cuenta de los métodos e instrumental de análisis empleados en el laboratorio (microestructurales y de composición química) y realizamos algunas consideraciones sobre la interpretación de los datos y las posibilidades y limitaciones de este tipo de estudios para el caso particular de los naufragios.

OBJETIVOS

Propósito y objetivo general de la investigación

El propósito de esta investigación de doctorado es contribuir a una comprensión más acabada de la dinámica de innovación tecnológica dentro del ámbito naval durante la transición de los períodos Moderno y Contemporáneo.¹ Con fines estrictamente analíticos, circunscribimos la temática anterior al caso particular de la metalurgia y los barcos de guerra británicos, franceses y españoles, entre mediados del siglo XVIII y principios del siglo XIX.

A fin de cumplir con tal cometido, planteamos como objetivo principal analizar la relación entre los cambios tecnológicos en torno a los artefactos de metal vinculados con la operatividad de los barcos —en lo que a capacidad de navegación y combate se refiere— y el proceso de industrialización y los conflictos que caracterizaron a las naciones europeas mencionadas durante el período en cuestión, con especial énfasis en los casos de estudio británicos. Formulamos a la vez tres objetivos de carácter más específico.

¹ Estos períodos históricos coinciden a grandes rasgos con los que en el ámbito anglosajón se denominan *early-modern* (o *post-medieval*, término muy utilizado en Arqueología) y *modern* (o *industrial*), respectivamente. Estos términos, además de aludir de modo aproximado a cierto marco temporal, poseen una carga conceptual que refiere a los hechos y procesos de carácter social, económico y político que ocurrieron en el transcurso de cada período.

Objetivos específicos

A lo largo de esta tesis nos proponemos cumplir con los siguientes tres objetivos específicos.

Primero, realizar un estudio histórico sobre los componentes de metal empleados en los barcos de guerra, en particular aquellos pertenecientes a la estructura del casco (los elementos de sujeción y el revestimiento del forro), el equipamiento náutico (las piezas pertenecientes a los sistemas de maniobra, fondeo y achique), el armamento (cañones y proyectiles), la jarcia y los accesorios.

Segundo, llevar a cabo una caracterización morfológica, funcional y físico-química de los artefactos recuperados de diferentes naufragios. El estudio incluye identificar las principales características técnicas de los restos (e.g. aspectos morfológicos, materia prima, proceso de fabricación, operatividad y eficiencia dentro del contexto de aplicación) y evaluar las semejanzas y diferencias registradas para cada tipo de componente en función de la procedencia y el período de operación de los barcos.

Tercero, indagar acerca de los procesos de transferencia (en especial de conocimientos, materiales y métodos), la transición entre la producción artesanal e industrial, el desarrollo de las investigaciones científicas y la política asociada a los conflictos armados entre las naciones. En particular, analizar la relación entre estos aspectos y el rol que cumplieron dentro del proceso de innovación en torno a la metalurgia y los barcos de guerra de la época.

Para alcanzar cada una de estas metas, realizamos un estudio integral de las diferentes fuentes de información disponibles, desde una perspectiva de trabajo interdisciplinaria. En el caso de la evidencia material procedente de los sitios arqueológicos, además de los medios de relevamiento y registro convencionales, para su caracterización utilizamos diversos métodos e instrumental de análisis. Antes de presentarlos, diremos algunas palabras acerca de los materiales (sitios y tipos de artefactos) considerados en la investigación.

LOS BARCOS CONSIDERADOS EN ESTE ESTUDIO

En este acápite presentaremos de forma sucinta los barcos de madera que fueron considerados para la investigación. Se trata de diferentes barcos de guerra de pabellón británico, francés y español, que cubren un espacio temporal de más de media centuria. Los naufragios, en particular, fueron estudiados en el marco de proyectos de investigación arqueológica, en el país y el extranjero. Gracias a ello contamos con una importante cantidad de información de base, referida al quién, dónde y cuándo, que fue de suma utilidad para el estudio que efectuamos, y sirvió de punto de partida para responder a preguntas sobre el cómo y el por qué. Con motivo de nuestra participación en algunos de estos trabajos, analizamos parte de los materiales, que son la materia principal sobre la que versa esta tesis. Junto a estos, evaluamos la información sobre otros restos de interés particular, que fueron recuperados y analizados por diferentes colegas en otras oportunidades (véase más abajo). También tuvimos en cuenta varios barcos para los que sólo se cuenta con información histórica. No evitaremos mencionar otros casos arqueológicos e históricos que, si bien no constituyen el foco de análisis y escapan al rango temporal definido, permitirán ilustrar ciertos aspectos de interés, en especial a la hora de delinear los principales antecedentes de los elementos metálicos utilizados en los barcos.

Los análisis específicos realizados por nosotros sobre las colecciones escogidas aparecerán aparte, como anticipamos, en anexos (Nos. 6 a 10). A lo largo de los siguientes capítulos integraremos esta información con el corpus de datos obtenido de otras fuentes documentales y arqueológicas. Mientras tanto, a continuación presentamos, en carácter de introducción, los sitios centrales para el presente estudio.

Gran Bretaña

Los naufragios del período de interés para los que se cuenta con mayor cantidad de datos sobre los componentes metálicos bajo estudio corresponden a barcos británicos (ingleses). Destacan en número aquellos que formaban parte de la Real

Armada. Muchos de estos sitios, en particular los que pertenecían a las categorías de las fragatas (en particular de 6to. orden), corbetas y barcos de transporte (de tropas y pertrechos), han sido objeto de estudios arqueométricos pormenorizados. La información publicada sobre los resultados del análisis de piezas recuperadas de barcos de mayor rango es significativamente menor.

Una corbeta de guerra en la Patagonia: la HMS Swift (1770)

La *Swift* era una corbeta de guerra (*sloop-of-war*) de la Armada Británica. De acuerdo a la documentación disponible, la cubierta superior tenía un largo de 91 pies y 4 pulgadas (27,8 m), una manga de 25 pies y 11 pulgadas (7,9 m) y un puntal de 13 pies y 5 ½ pulgadas (4,1 m); desplazaba 263 toneladas y estaba artillada con 14 cañones de seis libras.² Los barcos de este porte, como vimos, se utilizaban en diversas misiones, y eran los más pequeños entre aquellos que cumplían con las condiciones para realizar viajes transoceánicos. Durante los siete años en que la *Swift* estuvo operativa, fue encomendada a realizar tres viajes a asentamientos británicos de ultramar, el último de estos con destino a Puerto Egmont, en aquel tiempo base británica en las Islas Malvinas (Murray et al. 2002-2003; Elkin et al. 2007, 2011).

Según lo descrito en el acta de la corte marcial (seis meses después del hundimiento) y un reporte (*letter*) escrito por el teniente Gower (publicado en Londres varios años más tarde), a principios de marzo de 1770 la *Swift* se encontraba en viaje para realizar relevamientos geográficos de las costas y puertos en las Islas Jason (o Sebaldes, al noroeste del archipiélago de Malvinas). En estas circunstancias, el barco fue sorprendido por fuertes vientos del sudoeste, que al cabo de varios días lo condujeron hacia el continente, en proximidades de la ría Deseado, estuario bien conocido como puerto natural. La tripulación decidió recalar allí, a fin de descansar y esperar que mejorara el clima. Durante el ingreso a la ría, la *Swift* embistió con una roca que estaba oculta por la marea alta, y quedó encallada. Luego de realizar maniobras con anclas, zafaron repentinamente sin

² NMM, ADM 180/3, Progress and Dimension Books: Swift 1762-1769; NMM, ZAZ 4672, Lines & profile, Swift and Vulture, 1763. National Maritime Museum, Greenwich, Londres.

sufrir daños significativos y siguieron adelante, hacia el interior. Poco tiempo después, cerca de la costa norte, volvieron a sufrir un percance semejante, que tuvo consecuencias irremediabiles. No obstante los esfuerzos de la tripulación por liberar el barco, luego de unas horas de ocurrida la varadura, este finalmente se fue a pique (Gower 1803).³

Entre 1997 y 2011, el equipo del Programa de Arqueología Subacuática (PROAS) del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano (INAPL), bajo la dirección de la Dra. Dolores Elkin, llevó a cabo la investigación de los restos del naufragio (Fig. 5.1).



FIGURA 5.1 – RESTOS ESTRUCTURALES DE LA PROA DE LA *SWIFT* (1770)

Sector de proa del barco, en el que se aprecian varias cuadernas que asoman sobre el buzo y el arganeo del ancla de babor.

Foto: PROAS-INAPL 2011. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

³ PRO, ADM 1/5304, Court martial of HMS *Swift* crew, 29 September 1770. Public Record Office, Londres.

El proyecto estuvo centrado en el estudio de la vida a bordo (alimentación, salud y relaciones jerárquicas), los desarrollos tecnológicos (construcción naval, armamento y cultura material en general) y los procesos naturales y culturales de formación del sitio. La particularidad del naufragio y las características del ambiente en el que se encuentran depositados los restos (baja temperatura, sedimento fino y compacto, ambiente pobre en oxígeno), jugaron a favor de la integridad del sitio. Estas condiciones posibilitaron que se preservara en muy buen estado una amplia gama de artefactos orgánicos e inorgánicos, pertenecientes al barco y la tripulación (véase Elkin et al. 2011; obra que compila los resultados obtenidos por diferentes especialistas en torno a las temáticas citadas).

El presente trabajo se inserta en particular dentro de una de las líneas de investigación del proyecto, la tecnología naval. Parte importante de los resultados que aquí retomamos fueron obtenidos durante el desarrollo de una tesis de Licenciatura que tuvo como eje el análisis de la colección de artefactos de metal (Ciarlo 2014).

El sitio Deltebre I (1813): un transporte británico de las Guerras Napoleónicas

En junio de 1813, un convoy aliado al mando del Tte. Gral. John Murray intentó infructuosamente liberar a Tarragona —una pieza clave en el movimiento estratégico al este de la Península Ibérica— de las tropas napoleónicas. De regreso a Alicante, varios de los barcos de transporte embarrancaron a causa de un temporal en la desembocadura del río Ebro (Cataluña, España). Algunos de estos, sobre cuyo número las fuentes no son consistentes, cayeron en manos de los franceses; otros, en cambio, no habrían de seguir adelante (e.g. Suchet 1829:22; Blanch 1861:382). A poco de cumplirse doscientos años de aquel suceso, un pescador local halló los restos de un naufragio en la zona.

Las investigaciones arqueológicas en el sitio, denominado Deltebre (i.e. Delta del Ebro) I, fueron emprendidas en 2008 y desarrolladas anualmente sin solución de continuidad por el equipo del Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya

(CASC) del Museu d'Arqueologia de Catalunya (MAC), a cargo del Dr. Gustau Vivar. La primera campaña se llevó a cabo con el fin de evaluar las características principales del sitio, sobre las que pudo determinarse que se trataba de un transporte militar de fines del siglo XVIII a principios del siglo XIX. La excepcional conservación de los restos y su relevancia histórica motivaron que a partir de entonces se emprendiera la excavación del sitio. El estudio detallado de la arquitectura naval y de los objetos hallados en el sector de popa permitió determinar que este barco, de alrededor de 30 m de eslora, constituye uno de los transportes que encallaron en 1813 (Vivar et al. 2014).

En las áreas excavadas se halló parte del cargamento, que estaba formado principalmente por munición, e.g. balas de fusil y cañón; tarros de metralla; bombas de mortero; barriles con pólvora y piedras de chispa (Fig. 5.2) y artefactos relacionados con la navegación, la higiene personal, la alimentación, la indumentaria y el culto religioso (Vivar et al. 2014).



FIGURA 5.2 – CARGAMENTO DEL SITIO DELTEBRE I (1813)

En la imagen se puede ver a uno de los arqueólogos etiquetando las cajas de balas de grueso calibre que transportaba el barco (excavación de 2012).

Fotos: CASC-MAC 2010/2012. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Con relación a los restos estructurales del casco, se relevaron varias partes diagnósticas. La pala del timón del barco se encontró íntegra, desacoplada del codaste y tendida sobre el sedimento, en posición horizontal. La pieza de madera tiene un alzado de 9,5 m y está forrada con planchas de cobre en la parte que corresponde a la obra viva de la nave. Los machos son de aleación de cobre, a excepción del superior (que quedaba por sobre la línea de flotación), que es de hierro. A lo largo de la línea de crujía, se registraron dos de las tres carlingas que tendría el barco. Además, a popa del palo mayor y a babor de la sobrequilla, se hallaron los restos de la bomba de agua. En particular, se conserva parte del tubo de madera de esta máquina. Con relación a los elementos de sujeción, las principales partes de la estructura del barco, i.e. quilla, cuadernas y sobrequilla, fueron unidas entre sí por medio de pernos de cobre o aleación de cobre de diferente tipo. Estos también se utilizaron para la carpintería del codaste y las tablas del forro. La unión de las diferentes ligazones de las cuadernas, por un lado, y las tablas del forro exterior e interior a estas últimas, por el otro, fue realizada mediante cabillas de madera. Estas piezas no exhiben un patrón de colocación definido, sino que fueron ubicadas en las zonas más resistentes de cada uno de los maderos. Además, el piso de la bodega está claveteado con cabillas y clavos de hierro (Vivar et al. 2014).

Francia

Dos navíos de la batalla de Trafalgar: el Fougueux (1805) y el Bucentaure (1805)

En este trabajo nos ocuparemos con especial atención de dos barcos de pabellón francés, que participaron de la batalla de Trafalgar: el *Fougueux* y el *Bucentaure*, cuya investigación estuvo a cargo del equipo del Centro de Arqueología Subacuática (CAS) del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico (IAPH) (véase Rodríguez Mariscal 2010; Martí Solano 2008, entre otros trabajos).

En el año 1804, Francia y España unieron sus fuerzas navales para hacer frente a Inglaterra. El año anterior, esta incumplió el Tratado de Amiens (1802) firmado con Francia, y luego atacó y apresó cuatro fragatas de un convoy español con

cargamento monetario procedente de Montevideo. Estos sucesos llevaron a aquellos países a formar una Escuadra Combinada al mando del Vicealmirante francés Pierre Charles Silvestre de Villeneuve. El plan de Napoleón Bonaparte, emperador de Francia, consistía en desconcentrar a la flota inglesa del territorio británico, de modo de liberar al Canal de la Mancha el tiempo suficiente para poder invadir con su infantería el sur de Inglaterra. El poder naval de España, ya debilitado desde hacía tiempo, cedería paso al predominio británico luego de una de las batallas más significativas de la historia, la batalla de Trafalgar (Gallardo Abárzuza y Márquez Carmona 2005:87).

El 19 de octubre de 1805, la Escuadra Combinada partía de la Bahía de Cádiz rumbo al sur. Aunque la decisión respondía supuestamente a una orden dada por Napoleón de dirigirse a Nápoles, Villeneuve conocía la presencia cercana de la escuadra británica al mando del Vicealmirante Horatio Nelson. El 21 de aquel mes finalmente se produjo el enfrentamiento entre ambas armadas frente al Cabo de Trafalgar. Pocas horas después de iniciado el enfrentamiento, que resultó en la pérdida de un gran número de vidas humanas, la escuadra británica se erigió con la victoria. En este evento se hundió un solo navío (el *Achille*), pero los ingleses apresaron un total de 17 barcos; la mayor parte de estos se perdería más tarde en las costas andaluzas de Cádiz y Huelva, debido a los embates de un fuerte temporal (véase Márquez Carmona 2000).

El *Fougueux*, que se hallaba desarbolado, sin gobierno y a remolque como presa del navío *Temeraire*, habría de enfrentar su última batalla al día siguiente, contra el temporal que lo llevó a naufragar en los bajos de Sancti-Petri, frente a las costas de Camposoto. Casi todos los miembros de la tripulación que estaba a bordo murieron, pudiéndose salvar unos pocos hombres que llegaron hasta la costa a nado (Gallardo Abárzuza y Márquez Carmona 2005:89; Rodríguez Mariscal et al. 2010:97). El *Bucentaure*, que también había recibido severos daños estructurales, se fue a pique a consecuencia del temporal tras encallar en la restinga del Castillo de San Sebastián, frente a la ciudad de Cádiz (Lon Romeo 1950:282). En la figura 5.3 mostramos la ubicación aproximada de los respectivos naufragios.



FIGURA 5.3 – PLANO DE UBICACIÓN DE LOS SITIOS.

Localización de los sitios *Fougueux* y *Bucentaure*, según se consignan en un plano correspondiente a la Bahía de Cádiz e inmediaciones, titulado *The naval battle which took place off Cape Trafalgar on October 21st, 1805, between the combined fleets of France and of Spain and that of the English commanded by Vice-Admiral Nelson*.

Fuente: Archivos de la Capitanía General de Cádiz. Reproducción autorizada, cortesía del CAS-IAPH.

El *Fougueux*, navío de línea de 2da. clase y artillado con 74 cañones, se construyó en el arsenal real del puerto de L’Orient (Francia), bajo la supervisión del ingeniero Charles-Jean François Segondant.⁴ El diseño responde a las pautas que determinaba el plan-tipo del ingeniero naval Jacques Noël Sané, registrando unas dimensiones de ca. 55 m de eslora, 14 m de manga y 7 m de puntal. Este novedoso sistema, aprobado mediante concurso en 1782, revolucionó el concepto de construcción de navíos de guerra en época moderna (Boudriot y Berti 1995:90-102). Esta embarcación sufrió numerosas y profundas reformas: fue reconstruida

⁴ En el contrato de construcción, titulado (traducido al español) *Construcción por asentista, por la mano de obra de carpintería del Navío del Rey el Fougueux de 74 cañones* y con fecha de 1784, se especifican los trabajos a realizar y su coste. Archivo: Service Historique de la Marine, Rochefort, 2G11.

casi en su totalidad en los astilleros de Rochefort,⁵ entre 1792 y 1794, y reparada en Brest durante los años 1797, 1800 y 1803. La última reforma constatada en los documentos tuvo lugar en El Ferrol, en febrero de 1805, tras la cual se incorporó a las filas de la Escuadra Combinada comandada por Villeneuve. Para aquel entonces, era considerado un navío de marcha mediocre, que requeriría de una reconstrucción completa en 3 o 4 años (Rodríguez Mariscal et al. 2010:96).

Con relación al *Bucentaure*, este era un navío de 2da. clase y estaba artillado con 80 cañones.⁶ Fue construido en 1803, armado y botado en 1804 en el astillero de Toulon (Francia), siguiendo el plan Sané. Sus dimensiones principales eran las siguientes: ca. 59 m de eslora, 15 m de manga y 7 m de puntal (Boudriot y Berti 1995:187). Hasta la fecha, no se dispone de fuentes documentales que hagan referencia a información más detallada sobre la construcción del barco. Al respecto, el análisis de los restos estructurales reviste especial interés para profundizar el conocimiento sobre este tipo de navíos.

En 1999, el equipo del CAS-IAPH emprendió las investigaciones históricas y arqueológicas en el marco del proyecto *Trafalgar*. Los estudios realizados durante los primeros dos años estuvieron dedicados a la recopilación de diversas fuentes documentales sobre la batalla, a fin de delimitar las áreas con potencial arqueológico. La primera etapa también incluyó la recopilación de datos sobre actuaciones arqueológicas previas en la zona, así como de información oral de interés suministrada por buzos locales. Así, se confeccionó un mapa de distribución de restos de barcos y artillería localizados en las costas de Cádiz y Huelva. Una vez delimitadas las áreas prioritarias, se llevaron a cabo prospecciones con equipamiento geofísico (ecosonda multihaz y gradiómetros), que se complementaron con la inspección visual por medio de inmersiones de buceo, a fin de evaluar aquellos restos que pudieran estar relacionados con la referida batalla (Gallardo Abárzuza y Márquez Carmona 2005:89-92).

En 2004, en proximidades del lugar donde las fuentes documentales sitúan al naufragio del *Fougueux*, se hallaron los restos de un buque, que fue denominando

⁵ Archivo: Service Historique de la Marine, Rochefort, 3 E2 155 an III (Período revolucionario).

⁶ Como artillado reglamentario, según la documentación consultada, portaba 30 cañones de hierro calibre 36 (libras); 32 de 24 y 18 de 12. Además, contaba con 6 carronadas calibre 36 (Boudriot y Berti 1995:187).

pecio de Camposoto o de las Morenas (véase la Fig. 5.3). Los restos de maderamen del barco, según los relevamientos realizados por el CAS-IAPH durante sus intervenciones, comprenden una parte de la banda de estribor, desde la quilla hasta un sector ubicado entre el falso puente y el primer puente. Las investigaciones arqueológicas permitieron determinar que se trata de un barco construido según el plan Sané, por ende en momentos posteriores a 1782. Las características constructivas registradas durante los sondeos, junto con los resultados del análisis de otros elementos referentes a la artillería, enseres y pertrechos, indicaron que este naufragio corresponde a un navío de línea de nacionalidad francesa, encuadrado cronológicamente en momentos próximos a la batalla de Trafalgar (véase Rodríguez Mariscal et al. 2010:98-100; Rodríguez Mariscal 2010:93-120, para mayor información sobre los principales aspectos constructivos del casco). En la figura 5.4 reproducimos el plano del sitio, elaborado por el CAS-IAPH.

En este sitio también se localizaron 31 cañones de hierro, visibles sobre el lecho marino, en su mayor parte de calibre 36 y 18. Según la documentación oficial, este navío estaba originalmente artillado con 74 bocas de fuego, de las cuales 28 eran de 36 libras; 30 de a 18; y 16 de a 8; además, contaba con 6 obuses de a 24.⁷ Durante las primeras intervenciones en el sitio, estos cañones también aportaron a la identificación de la nacionalidad del naufragio. Los datos obtenidos de algunas de las piezas en cuestión, luego de retirar parcialmente la concreción que les cubría, indicaron que fueron elaboradas en fundiciones francesas, entre finales del siglo XVIII y principios del siguiente. Por caso, uno de los cañones (No. 6) lleva la leyenda *AN 2^{ME} RUELLE*. La información anterior permitió precisar que este ejemplar fue elaborado en la fundición de Ruelle, en el segundo año del calendario republicano francés (22/09/1793 al 21/09/1794). El nombre de esta fundición también fue registrado en el cañón No. 15. Otro de los ejemplares, el No. 27, lleva

⁷ Hacia 1794, el *Fougueux* figura como artillado con 84 cañones. Según la información obtenida por los autores de la investigación, este navío no sufrió modificaciones en la cantidad de cañones llevados a bordo. Es necesario notar que, al momento del naufragio, este se encontraba artillado para la batalla, lo que muchas veces suponía un aumento en la cantidad regular de cañones (Rodríguez Mariscal et al. 2010:101).

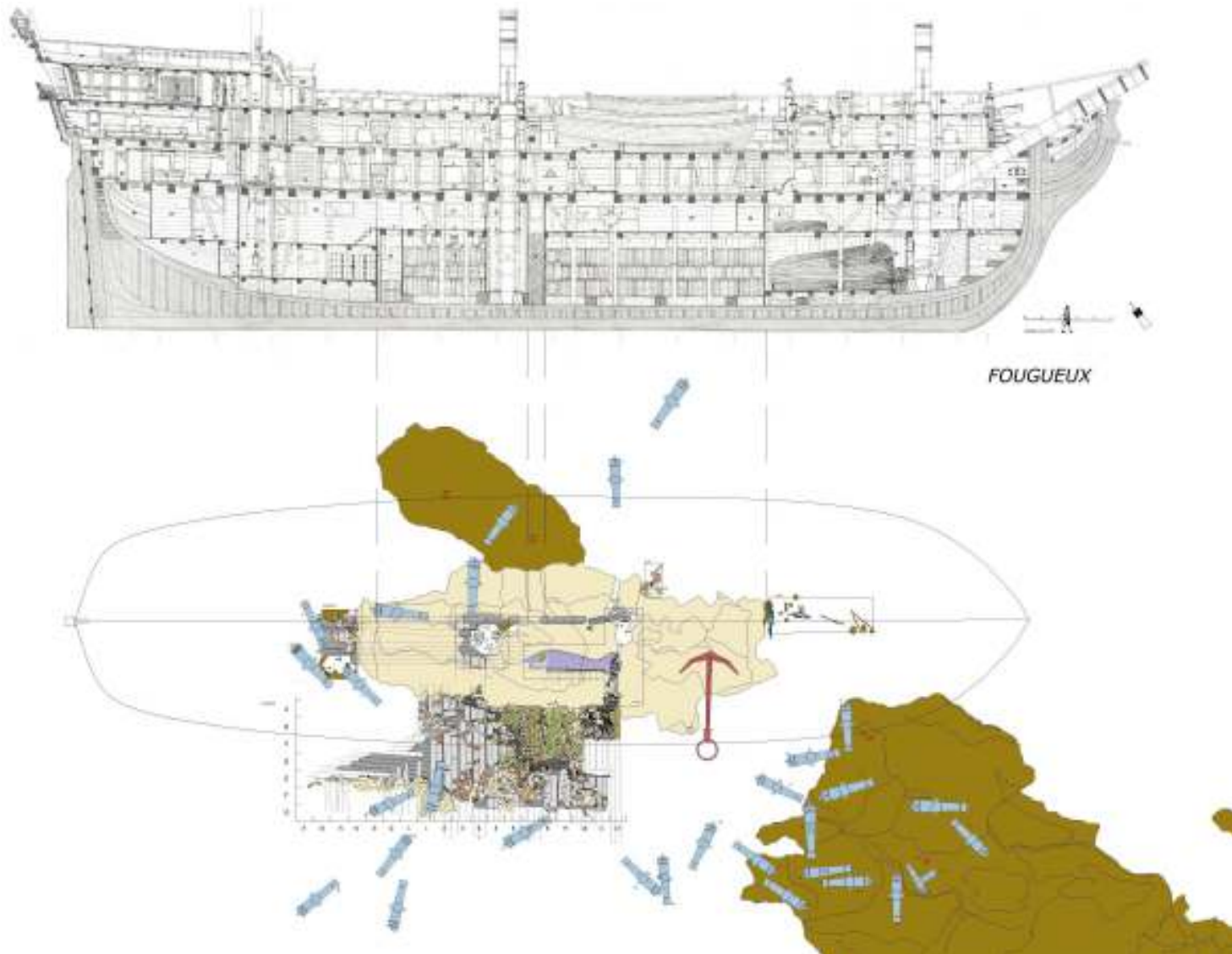


FIGURA 5.4 – PLANO DE DEL SITIO *FOUGUEUX*.

Imagen de las zonas excavadas (entre 2006 y 2008). En el plano superior, diseñado por Jean Boudriot a partir de las pautas del plan-tipo de Sané, puede apreciarse qué zonas del barco fueron excavadas (Boudriot 2000: plancha 21).

Plano del sitio: CAS-IAPH. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

la fecha 1790 sobre uno de los muñones. Es probable que los cañones de la última década del siglo hayan sido incorporados durante la reforma realizada en Rochefort, o incluso con posterioridad. El hallazgo de una llave de chispa (de cañón) con la marca *Charlville* en uno de sus laterales, también es sugerente. La fábrica en cuestión se localizaba en el NO de Francia, y fue una de las más importantes de la época (véase Rodríguez Mariscal et al. 2010:100-102; Rodríguez Mariscal 2010:2,3,11,162-179).

Las armas blancas y de fuego personales también corresponden a piezas francesas de la época. En el sitio también se hallaron diversos objetos relacionados con la vida a bordo del navío (véase Rodríguez Mariscal et al. 2010:102-105). Las monedas francesas localizadas (monárquicas y republicanas) fueron asimismo de utilidad como medios para la adscripción temporal del naufragio, que permitieron ubicarlo con posterioridad a 1803. Al respecto, la localización de ciertos objetos pertenecientes al uniforme militar francés del regimiento 79, fue clave para determinar la identidad del navío. En agosto de 1805, cinco destacamentos de este regimiento embarcaron en los buques *Redoutable*, *Argonaute* y *Fougueux*, que yacían en El Ferrol. Las fuentes documentales indican que los dos primeros se perdieron en alta mar, mientras que aquellas que mencionan el naufragio del *Fougueux* hacen referencia a un entorno coincidente con el pecio de Camposoto. A partir de los resultados obtenidos fue posible establecer un vínculo evidente entre los restos materiales de este sitio y el *Fougueux* (Rodríguez Mariscal et al. 2010:106; véase además Rodríguez Mariscal et al. 2014).

En el caso del *Bucentaure*, los trabajos arqueológicos se llevaron a cabo en un área que se conocía por la existencia de un conjunto de piezas de artillería de hierro atribuidas a este barco y coincidía, según las fuentes documentales, con el lugar del naufragio (véase la Fig. 5.3). Uno de los objetivos principales de las prospecciones y sondeos realizados en el sitio fue identificar aquellos restos que pudieran contribuir a determinar la identidad del naufragio moderno, dado que en el área también se localizó material cerámico fenicio-púnico y romano. La mayor parte de los restos hallados en superficie son de metal y, sobre todo, de hierro. Al respecto, las investigaciones se concentraron en los siguientes objetos diagnósticos: una treintena de cañones de hierro de diferentes calibres, anclas, zunchos de vigota y municiones. Por el momento, pese a las búsquedas realizadas

en los sectores con mayor potencial, no se detectaron restos del maderamen del naufragio; es probable, teniendo en cuenta las condiciones naturales del lugar y las incursiones realizadas por buceadores locales durante años, que aquel se haya deteriorado por completo (véase Rodríguez Mariscal y Martí Solano 2001; Martí Solano 2006, 2008).

Varios objetos de metal contribuyeron a la identificación espacial y temporal de los restos localizados en el sitio Bajo Chapitel. Entre los objetos llevados a bordo por la tripulación, cabe destacar el hallazgo de la empuñadura de un sable *briquet* de infantería, que habría pertenecido a los granaderos del Cuerpo Real de la Marina francesa. Además, se localizó una tapa de caldero de aleación de cobre, la cual lleva grabadas dos anclas —símbolo de la Marina Francesa utilizado durante la Revolución, entre 1792 y 1803— a ambos lados del asa central. Por otro lado, el análisis de la evidencia relativa a la artillería —en algunos casos, mediante la remoción parcial de la concreción— fue de capital importancia. Se identificaron los calibres de las piezas (36, 24, 12 y 8) y se obtuvieron datos acerca de las fundiciones, fechas de producción y otros datos puntuales (e.g. el peso y número de serie). La evidencia analizada indica que los restos del este sitio corresponden a un buque de guerra francés de al menos 74 cañones, teniendo en consideración las piezas calibre 36, con fecha de naufragio posterior a 1802. En este sitio se hallaron algunos objetos relacionados con el equipamiento del barco; en particular, podemos mencionar los restos de dos bombas de sentina, que solían localizarse en cercanías del palo mayor y mesana. En cercanías también se localizaron tres anclas de diferentes dimensiones, aunque con los datos disponibles aún no pudo determinarse si existe una relación entre estos objetos y el navío francés (véase Martí Solano 2008; para una exposición pormenorizada de la investigación desarrollada por el equipo del CAS-IAPH).

En resumen, a partir de la articulación de la información arqueológica mencionada con los datos recabados de las fuentes documentales, fue posible poner en relación los materiales en cuestión con los restos del navío de línea francés *Bucentaure* (Martí Solano 2008:154-155).

España

El navío de 74 cañones Triunfante (1795)

El *Triunfante* era un navío de dos cubiertas y 74 cañones, que desarrolló diversas misiones al servicio de la Armada Española: acciones bélicas, científicas y diplomáticas, entre 1756 y 1795. En sus últimos días integró la escuadra comandada por Gravina, y naufragó en el Golfo de Rosas (Cataluña, España), durante las operaciones de defensa del lugar frente a la Armada Francesa.

Las últimas acciones se enmarcan dentro de la Guerra Grande (1793-1795), en la que la escuadra de Gravina fue enviada desde Cartagena hacia el norte, para consolidar las posesiones españolas del Rosellón (vertiente septentrional de los Pirineos), en particular Collioure y Port-Vendres. Pero las fuerzas francesas habían tomado estas posiciones y se habían adentrado en el Ampurdán (Empordà). En diciembre de 1794, la villa de Rosas y la fortaleza y el castillo de la Trinidad se encontraban asediados por el ejército francés. Frente a esta situación, los navíos y fragatas de pabellón español decidieron anclar en las cercanías, a fin de proteger a abastecer los establecimientos desde el mar. Estando allí, la zona fue azotada durante varios días por un fuerte temporal, que produjo severos daños en los barcos. El 5 de enero, la intensidad del temporal obligó al capitán del *Triunfante* a intentar salir del Golfo de Rosas, pero viéndose en peligro de embicar contra la costa rocosa de Montgrí, decidió embarrancarlo en una playa de arena al sur del río Fluvià. Tal fue el impacto que, según los relatos de la época, se rompió la jarcia y los tres palos cayeron sobre la cubierta y al agua. Al día siguiente se inició la recuperación de la carga, artillería, munición y jarcia que pudo salvarse de este, así como de los otros barcos que sufrieron daños durante el temporal. Los habitantes de la zona también se dedicaron a rescatar lo que estuvo a su alcance. Desde la década de 1960, con el mismo objetivo, entraron en acción los buceadores. En el año 1974, con el barco de la Real Armada española *Poseidón*, se excavó parte del sitio y se extrajeron varios artefactos, entre los que cabe mencionar varios cañones y munición de diferente calibre, así como la roda, que se expone en el Museo Marítimo de Barcelona –MMB– (Pujol i Hamelink y Vivar 2009a:4,5,9; Pujol i Hamelink et al 2011:126).

Teniendo esta compleja realidad en consideración, las investigaciones arqueológicas se concentraron en el análisis de los restos estructurales, a fin de resolver algunas cuestiones relacionadas con la construcción naval en los arsenales de España entre 1748 y 1755. En aquellos años Jorge Juan estableció un nuevo diseño de navío, inspirado en los conocimientos sobre construcción naval que había adquirido en Inglaterra. Para concretar su programa, recurrió asimismo a la experiencia de numerosos técnicos ingleses, que llevó a trabajar a los arsenales españoles. Por estas razones, este sistema es usualmente denominado como *nueva construcción* o *construcción a la inglesa*. Sin embargo, las circunstancias políticas del momento, en particular la caída en desgracia del Marqués de la Ensenada en 1754, llevaron al cuestionamiento de las soluciones constructivas inglesas. Uno de sus principales detractores fue el Marqués de la Victoria, que promovió retornar al sistema previo de construcción, de fuertes influencias francesas, cosa que sucedió gradualmente en los años siguientes (Pujol i Hamelink et al 2011:124,125). A la postre, en 1756 el Ministro de Marina Arriaga decretó que se hiciera una serie de modificaciones en los navíos, que afectaron también a los ya construidos durante el programa de Ensenada. Las modificaciones, que incluyeron el reemplazo de las cabillas de madera por clavazón y hierro en la obra muerta (y algunos años más tarde también en la obra viva), se realizaron con el fin de otorgarle mayor solidez estructural a los barcos. A partir de este momento es posible hablar de un sistema híbrido, anglo-español, en la construcción (Pujol i Hamelink y Vivar 2009a:6).⁸

Al respecto, el *Triunfante* resultó desde un comienzo de singular interés para el estudio de este proceso, dado que fue levantado por el constructor británico Richard Rooth en el astillero del Ferrol entre 1754 y 1756, es decir en los años en que se puso en tela de juicio la construcción a la inglesa y el decreto de Arriaga. El *Triunfante* tuvo una larga vida, y estuvo sujeto a regulares recorridos, que incluyeron reformas importantes, por lo que uno de los desafíos del proyecto fue determinar qué evidencias de la *construcción a la inglesa* quedaban en el casco del barco (Pujol i Hamelink et al 2011:125-127).

El naufragio se encuentra frente a la playa Sant Pere Pescador (San Pedro Pescador), en el Golfo de Rosas, al norte de Cataluña. Los restos de la estructura

⁸ Para mayor información sobre la vida de Jorge Juan, su estancia de espionaje en el exterior, y la política de construcción naval impulsada por Ensenada, véase de la Fuente (2006).

fueron ubicados bajo el agua, sobre un fondo de arena y a una profundidad entre 4 y 5 metros. Al momento en que fueron localizados, estaban cubiertos parcialmente por esta matriz sedimentaria, así como por concreciones ferrosas, que contribuyeron a su preservación. Los restos de la estructura comprenden la parte inferior de la bodega del navío, que se encuentra escorado sobre la banda de estribor, y tienen una extensión de ca. 50 metros de largo y 10 de ancho.⁹ Las intervenciones arqueológicas fueron conducidas por el equipo del CASC-MAC, durante los años 2008, 2009 y 2010. Los trabajos incluyeron tareas de relevamiento y excavación de toda la estructura del casco (Fig. 5.5).



FIGURA 5.5 – REGISTRO DE LA ESTRUCTURA DEL *TRIUNFANTE* (1795)

Tareas de relevamiento y registro métrico de un sector de la estructura del barco (campana de 2008).

Foto: CASC-MAC 2008. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

⁹ El casco del navío tenía las siguientes dimensiones: 92 codos, 12 pulgadas de eslora (53,16 m); 23 codos, 16 pulgadas de manga (13,21 m); 11 codos, 12 pulgadas de puntal (6,6 m); y 80 codos de quilla (45,97 m) (Pujol i Hamelink et al. 2012:126).

Los datos recabados durante estas actividades fueron plasmados en varios informes y artículos (e.g. Pujol i Hamelink y Vivar 2009a, 2009b, 2010; Pujol i Hamelink et al. 2011). Los resultados de las investigaciones históricas y arqueológicas sobre el navío fueron recientemente reunidos en una de las Monografies del Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya, titulada *El vaixell Triunfante: Una fita de la ciència i de la tècnica del segle XVIII* (Nieto et al. 2013).

En la primera campaña de 2008 se ubicó el naufragio y se realizó una evaluación del estado de preservación de los restos, a fin de planificar las futuras tareas de relevamiento y excavación. En la segunda campaña, ese mismo año, se trabajó en el área central y la popa del barco. La excavación en el sector medio de la estructura cubrió un área de 144 m². De resultas, se obtuvo un registro detallado de la planta y varias secciones del casco, y se extrajeron algunos materiales asociados a la estructura. Los resultados obtenidos permitieron determinar que se trata de una construcción muy sólida, que presenta algunas soluciones técnicas típicamente inglesas: la presencia de un madero ubicado entre la cara superior de la quilla y las varengas, a lo largo de toda su extensión (dormido, también llamado contraquilla superior); la unión de los maderos que forman la quilla por medio de una junta lateral; la proximidad entre las cuadernas, que no tienen claras, y el uso de calzos (cuñas) entre las cabezas de las varengas y los pies de los genoles; y el sistema de sujeción de las cuadernas a la contraquilla, y de esta a la quilla, por medio de cabillas de madera. Por otro lado, presenta algunas características propias de la construcción española, e.g. la fijación de las tablas del forro exterior e interior a las cuadernas mediante clavos de hierro. Esto último sugiere que la tablazón en cuestión fue puesta en algún momento, o en diversas instancias, con posterioridad a su construcción. Abonan esta idea las dimensiones de las tablas, cuyo grosor es consistente con el utilizado por los españoles y franceses (Pujol i Hamelink y Vivar 2009a:7-12; Pujol i Hamelink et al. 2011:128,129).

En la campaña del año siguiente, el sitio se encontró cubierto por completo con una capa de uno a dos metros de sedimento, que debió removerse a fin de concluir la planimetría de la estructura. Siguiendo la misma metodología que se implementó en 2008, se consiguió registrar un área de 264 m². Para relevar las secciones del barco, en el sentido transversal y longitudinal a la quilla, en esta oportunidad se utilizó por primera vez un nivel láser. Este nuevo aparato permitió

determinar las diferentes cotas, desde un punto cero preestablecido, con rapidez y un alto grado de precisión (centimétrica). Por otro lado, la presencia de uno de los baos en el área de la popa permitió estimar, pese a su avanzado estado de deterioro, la altura de la cubierta de la primera cubierta. Asimismo, en este sector se identificaron restos de ladrillos y planchas de plomo, indicios de que allí se encontraba ubicada la Santa Bárbara (Pujol i Hamelink y Vivar 2009b:9-15).

En 2010 se llevó a cabo la última actuación arqueológica en el sitio, con la que se finalizó la planimetría del barco. En aquella oportunidad, los trabajos se concentraron en el área de proa. Al igual que en la campaña pasada, primero debió extraerse una capa de uno a dos metros de arena que cubría la superficie de la estructura. Se obtuvo el registro de un área de 288 m² del barco, que sumado al de 2008 y 2009 hizo un total de 696 m². Los perfiles volvieron a realizarse mediante nivel láser, dados los excelentes resultados que se obtuvieron el año anterior. Los datos recabados permitieron reafirmar lo expuesto más arriba y estudiar con detalle el sistema de sujeción de las cuadernas a la contraquilla, y de esta última a la quilla, mediante cabillas de madera. Asimismo, pudo comprobarse su empleo para la unión entre los sobreplanos (bulárcamas), el forro interno, las cuadernas y el forro externo, lo que indica la importancia que tenían estos elementos de sujeción a nivel estructural. Cabe notar que muchas de las cabillas registradas exhiben una terminación muy cuidada (Pujol i Hamelink y Vivar 2011:6-10).

Debido a las varias actividades de recuperación llevadas a cabo desde el tiempo del naufragio hasta unas décadas atrás, durante los tres años de trabajo arqueológico en el sitio se hallaron pocos materiales muebles. La mayoría de estos fueron recuperados y conservados en las instalaciones del CASC, adonde se encuentran en la actualidad.

Acerca de los paralelos arqueológicos

El uso de paralelos arqueológicos es fundamental en toda investigación, en especial si se trata de una que contempla la articulación de datos de múltiples casos de estudio. No se trata de una simple elección, sino más bien de un requisito

esencial, del que depende la posibilidad de desarrollar un tema con cierta profundidad y extensión. Recordemos que la ciencia es una actividad esencialmente grupal. En Arqueología —y en muchas otras disciplinas de las ciencias fácticas—, los resultados que pueden obtenerse a partir del trabajo en conjunto, los esfuerzos individuales por separado ya no alcanzan.

Es de común acuerdo que los antecedentes de una investigación constituyen el marco general del trabajo, ya sea que este represente una continuación o una ruptura respecto de los resultados alcanzados previamente. En otras palabras, estos aportes forman parte de las bases sobre las que se sustentará el desarrollo del nuevo estudio. En este sentido, son materia ineludible dentro del proceso de construcción del conocimiento.

Sobre este asunto, hay que resaltar la importancia que tiene desarrollar un análisis integral de la evidencia, es decir articular los datos propios y de terceros de tal modo que sirvan para analizar una problemática nueva. Sin embargo, de ello se desprende la siguiente dificultad. Dijimos que la realización de cualquier análisis —con miras a resolver un objetivo particular— enmarcado dentro de un estudio interdisciplinario, supone desde un principio la existencia de un marco conceptual y metodológico, e incluso epistemológico, compartido entre los especialistas. Según García (2013), con quien estamos de acuerdo, esto último es el principal aspecto que define a un trabajo interdisciplinario, y que lo distingue de uno multidisciplinario, basado en la simple suma de estudios realizados a partir de conocimientos, métodos e instrumental de análisis de diferentes disciplinas o especialidades. En función de lo anterior, queda claro que una investigación como la que aquí nos propusimos realizar demandaría idealmente la existencia de un programa a largo plazo conducido por uno o varios equipos de trabajo interdisciplinario, de carácter internacional. En el ámbito de la Arqueología marítima pocas veces se ha dado esta situación. En su lugar, como a otros, nos toca asumir una posición mucho más modesta.

Procuramos cumplir con la modalidad propia de un trabajo interdisciplinario. El escenario más favorable se presentó en aquellos casos en que tuvimos acceso directo a la evidencia material, que fue analizada con miras a responder los interrogantes planteados dentro del marco de esta investigación. Los datos

disponibles de otros naufragios —obtenidos en diferentes contextos de investigación, cada uno con sus particularidades—, también fueron considerados. Este tipo de información puede suponer ciertas limitaciones, dado que las diferentes instancias del proceso, desde la excavación hasta el análisis de laboratorio, no fueron realizados como parte de un mismo plan de trabajo y pueden no compartir un marco teórico-metodológico similar.¹⁰ No obstante, constituye igualmente una fuente de suma importancia para emprender el estudio de un tema que requiere de la integración de una multiplicidad de sitios. Definir la forma más adecuada de articular estos datos, probablemente sea una deuda pendiente.

Efectuamos una primera distinción entre tres niveles de información, que implican un trabajo de interpretación creciente y se corresponden, en líneas generales, con las instancias que manejamos para el análisis de la evidencia material estudiada por nosotros: 1) la información derivada del relevamiento y registro macroscópico (e.g. la adscripción funcional, de acuerdo con su morfología general); 2) los datos obtenidos a partir de la caracterización físico-química de los restos (e.g. la composición química elemental de una aleación; o los valores de dureza del material); 3) la traducción de los datos antes recabados en términos tecnológicos, en el sentido más inmediato (e.g. la identificación del método de manufactura empleado, a partir del análisis metalográfico; o evaluación de su eficacia como componente de la estructura del casco, en función de las propiedades mecánicas registradas) y 4) la evaluación de la información anterior con relación al contexto arqueológico e histórico relativo al sitio, así como a la luz de los conocimientos sobre el entorno social, económico y político más amplio. Los últimos dos niveles de esta suerte de cadena interpretativa requieren de un análisis del contexto sociocultural particular, más o menos inmediato, dentro del que se inscriben los objetos en cuestión.

En la región sudamericana existen numerosos naufragios que datan del período de interés. Algunos de estos comenzaron a ser estudiados arqueológicamente durante las últimas dos décadas (e.g. Pujante Izquierdo 2001; Cordero et al. 2003;

¹⁰ El cuerpo principal de información con el que nos manejamos es de carácter público. Tuvimos en cuenta además información inédita (e.g. reportes de excavación y de laboratorio), que fue gentilmente facilitada por varios colegas.

García et al. 2003; Nasti 2006; Carabias 2009). No obstante, en la mayor parte de los casos, los resultados publicados son aún preliminares. A nivel excepcional, podemos mencionar el caso de la *Swift* (véase Elkin et al. 2011 y las referencias citadas en la obra). Por su pertinencia al tema del presente trabajo, caben destacar las recientes investigaciones emprendidas en el *HMS Agamemnon* (1781-1809), cuyos restos yacen en la Bahía de Maldonado, Uruguay (Alejo Cordero, com. pers. 2015) y en varios de los naufragios ocurridos en proximidades de Cartagena de Indias, Colombia, durante el sitio de la ciudad por parte de los británicos en 1741 (Amaru Argüeso, com. pers. 2015).

La mayor parte de los naufragios que forman el corpus de datos empleado como muestra comparativa en el marco de esta investigación corresponden a sitios localizados en diferentes partes del mundo, que han sido objeto de extensos estudios a lo largo de varios años. Producto de estos, hoy en día contamos con información histórica y arqueológica pormenorizada sobre diversos aspectos relativos a la tecnología naval, plasmada en artículos especializados y libros de carácter compilatorio. Las colecciones de algunos de estos naufragios también han sido objeto de estudios arqueométricos. Prestaremos especial atención a los siguientes casos (en orden cronológico):¹¹

- *HMS Invincible* (1747-1758), ex *L'Invincible* (francés): navío británico de tercer rango, artillado con 74 cañones, Isla de Wight, Canal Inglés, Inglaterra (e.g. Bingeman 1985, 2010; Lavery 1988).
- *Machault* (1758-1760): fragata francesa, artillada con 30-32 cañones, Bahía Chaleur, Canadá (e.g. Sullivan 1986; Zacharchuk y Waddell 1986).
- *HMS Boscowen* (1759-1763): corbeta británica, artillada con 16 cañones, Lago Champlain, EE.UU. (e.g. Carter 1995; Flanigan 1999).
- *HMB*¹² *Endeavour* (1764-1778): bricbarca británica, encalló (1770) en la Gran Barrera de Coral, Queensland, Australia; allí alijó parte del equipamiento y artillería (e.g. Samuels 1992).

¹¹ El número de cañones reportado a continuación, en algunos casos, es estimativo. Por caso, la información sobre el *HMS Boscowen* corresponde al año 1759, ya que se desconoce la artillería que llevaba a bordo al momento del naufragio.

¹² Las siglas *HMB* refieren a *His/Her Majesty Bark* (bricbarca de Su Majestad).

- *HMS Sirius* (1780-1790), ex *Berwick*: transporte británico de sexto rango, artillada con 22 cañones, Bahía Sydney, Isla Norfolk, Australia (e.g. Stanbury 1994, 1998).
- *HMS Pandora* (1779-1791): fragata británica de sexto rango, artillada con 24 cañones, Gran Barrera de Coral, Queensland, Australia (e.g. Gesner 1998; Campbell y Gesner 2000; McKay y Coleman 2010).
- *HMS Sirius* (1797-1810): fragata británica de quinto rango, artillado con 34 cañones, Gran Puerto, República de Mauricio, situada al este de Madagascar (e.g. von Arnim 1998).
- sitio Akko 1 (ca. 1840): bergantín armado indeterminado (posiblemente de origen europeo), Puerto de Acre, Israel (e.g. Cvikel y Kahanov 2009).¹³

En la figura 5.6 mostramos la localización de los cinco sitios analizados por nosotros, junto con los principales naufragios estudiados por otros colegas y que aquí utilizamos como fuente de referencia. La información sobre la ubicación de los restos fue obtenida de la bibliografía ya referida.

De forma complementaria, a lo largo de la tesis tendremos en consideración algunos otros sitios del siglo XVIII de diversa procedencia (incluimos sitios de la primera mitad de la centuria), tales como el barco pirata de 40 cañones *Queen Anne's Revenge* (ca. 1713-1718), ex *Concorde* (francés), Ensenada Beaufort, Carolina del Norte, EE.UU. (Lusardi 2000); el barco de cuarto rango y 50 cañones *HMS Maidstone* (1744-1747), Isla de Noirmoutier, Francia (Maisonneuve 1992); el mercante británico *Auguste* (1761), ex *Auguste* (francés), Bahía de Aspy, Isla del Cabo Bretón, Nueva Escocia, Canadá (Canadian Parks Service 1992); el navío español de 70 cañones *El Buen Consejo* (1772), Anguila, Islas de Sotavento, Antillas Menores (Rodgers et al. 2006); el corsario (*privateer*) norteamericano *Defense*

¹³ Consideramos este sitio, aún indeterminado, fundamentalmente por dos motivos: 1) fue construido durante el primer cuarto del siglo XIX y es posible que haya tenido alguna participación en el bombardeo de la ciudad de Acre, en 1840, por parte de una escuadra combinada anglo-turco-austríaca; 2) es uno de los pocos naufragios del período de interés en el que se han realizado numerosos estudios arqueometalúrgicos (e.g. Mentovich et al. 2010; Ashkenazi et al. 2011, 2014; Cohen et al. 2015).

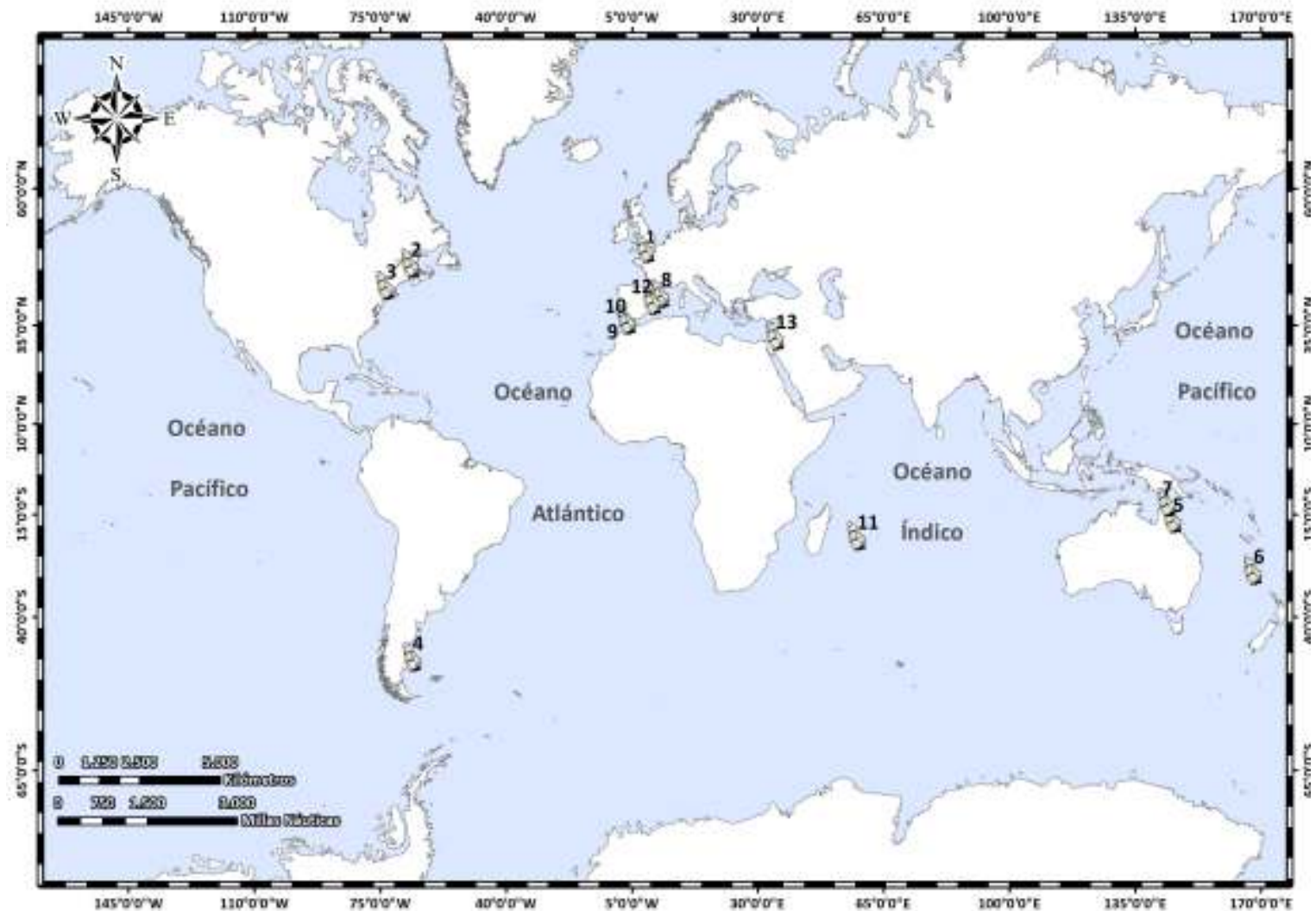


FIGURA 5.6 – PLANISFERIO CON LA UBICACIÓN DE LOS PRINCIPALES SITIOS ARQUEOLÓGICOS MENCIONADOS.

En el mapamundi figuran los principales sitios considerados, a saber: 1) *HMS Invincible* (1758); 2) *Machault* (1760); 3) *HMS Boscowen* (1763); 4) *HMS Swift* (1770); 5) *HMB Endeavour* (1778; varó en 1770); 6) *HMS Sirius* (1790); 7) *HMS Pandora* (1791); 8) *Triunfante* (1795); 9) *Fougueux* (1805); 10) *Bucentaure* (1805); 11) *HMS Sirius* (1810); 12) sitio Deltebre I (1813); 13) sitio Akko I (ca. 1840).

Mapa: L. Coll 2015.

(1779), Bahía de Penobscot, Maine, Nueva Inglaterra, EE.UU. (Switzer 1998); la fragata de quinto rango y 36 cañones *HMS Pallas* (1757-1783), Caleta, São Jorge, Islas Azores, Portugal (Flynn 2006); la fragata francesa de 40-42 cañones *La Surveillante* (1778-1797), Bahía de Bantry, Irlanda (Breen y Forsythe 2007); el mercante *Sydney Cove* (1797), Isla Preservación, Tasmania, Australia (Nash 2001a, 2001b); navío de 74 cañones *HMS Colossus* (1787-1798), Islas Sorlingas, Inglaterra (Birchal 1998; Camidge 2005, 2015); la fragata de 32 cañones *HMS Proselyte* (1770-1801), ex *Jason* (holandés), Sint Maarten (mar Caribe), Reino de los Países Bajos (Bequette 1996); y la fragata española *Nuestra Señora de las Mercedes* (1786-1804), cabo Santa María, Algarve, Portugal (AA.VV. 2015); y otros aún no identificados (e.g. Watts y Krivor 1995).

Para mayor información acerca de estos barcos (e.g. historia de servicio, condiciones del naufragio, estado de integridad de los restos estructurales, operaciones de salvamento, actividades arqueológicas, artefactos recuperados, conservación de la colección, análisis de laboratorio, y demás), recomendamos la lectura de las referencias citadas, así como de las otras que se mencionen a lo largo del escrito.

ASPECTOS METODOLÓGICOS ESPECÍFICOS

Notas sobre el sistema de agrupación y clasificación

Al final del capítulo tercero señalamos que durante el siglo XVIII los barcos de madera disponían de una amplia variabilidad de artefactos metálicos, desde las piezas que formaban parte del casco hasta los objetos personales llevados a bordo. En esta tesis, el foco de análisis está puesto en algunas categorías de objetos, de acuerdo con una segmentación que responde a los interrogantes específicos de la investigación. Tal como afirmo Potter, debe tenerse en cuenta que “no puede haber una forma ‘correcta’ o ‘errónea’ de describir un artefacto por fuera de una pregunta particular que se busca responder a partir de este último” (Potter 1992:119).

Maarleveld (1995) destacó que en materia de análisis existen dos formas diferentes de estructurar cierta cantidad de datos: mediante agrupación y clasificación. La primera es una herramienta para conocer y manejar el material (de carácter finito) con el que se trabaja, mientras que la segunda constituye una estructura en sí misma, vinculada a una teoría y pregunta de investigación particulares, dentro de la que se ubican los datos. La simple estructuración —primer ordenamiento de los artefactos analizados— que enunciamos a continuación podría considerarse como una clasificación, ya que se la utiliza en la investigación como criterio predeterminado. Pero esta nomenclatura morfológico-funcional (i.e. tipología), siguiendo al citado autor, no es empleada aquí como un fin en sí misma. Será de utilidad en tanto en cuanto permita, en una instancia ulterior, analizar algunos aspectos de interés, sobre la base de la información arqueológica obtenida y la implementación de variables temático-específicas, i.e. de la tecnología naval y metalúrgica. En el caso del revestimiento de forro, por citar un ejemplo, estas podrían ser las siguientes: dimensiones de los diferentes componentes, método de manufactura, tipo y calidad de material, modalidad de colocación de las planchas y patrón de clavado de las tachuelas.

La agrupación (o terminología) a la que nos acogemos en este estudio es una adaptación realizada a partir del trabajo de Goodwin (2001).¹⁴ El sistema está organizado según una serie de categorías, generales y específicas. El contenido de estas últimas fue desarrollado a partir de la información consignada en diversos estudios pormenorizados sobre cada uno de los aspectos (e.g. Williamson Jobling 1993; Oertling 1984; Curryer 1999; Bingeman et al. 2000; McCarthy 2005; McKay y Coleman 2010), con una exhaustividad acorde a los materiales disponibles para analizar. En el caso de los artefactos de procedencia aislada dentro del sitio (e.g. algunos elementos de sujeción), realizamos su asignación a determinado grupo por medio de analogía.¹⁵ Este procedimiento reviste interés para la investigación, dado

¹⁴ También consultamos otros trabajos que emplean este tipo de clasificaciones (e.g. Anderson 1988; McLaughlin-Neyland y Neyland 1993; Campbell y Gesner 2000).

¹⁵ En el caso de los elementos de fijación, se optó por una descripción tipológica (en lugar de una basada en la función), teniendo en cuenta que la mayoría de las piezas analizadas fueron halladas disociadas del componente de madera al que originalmente estaban unidas. No obstante, más adelante se mencionan los posibles usos de cada tipo de elemento, de acuerdo con sus características morfológicas (véase McCarthy 2005, para un recuento detallado). Como cualquier otro sistema de ordenamiento de esta índole, no está exento de algunos inconvenientes. Se evitó, cuando las circunstancias lo permitieron, trabajar con objetos que no pudieron ser identificados

que permite disponer de una base con la cual realizar comparaciones entre inventarios de diferentes tipos de barcos contemporáneos y/o repertorios de barcos semejantes a lo largo de determinado período de tiempo (Reinders 1985, en McLaughlin-Neyland y Neyland 1993:15-16). Tal como destacó Nieto, las designaciones para un mismo elemento naval pueden variar de un país a otro, e incluso dentro de una región (Nieto 1984:130). Por ello, aquí recurrimos a los términos más usuales en castellano, y optamos por brindar la traducción en inglés.

A continuación detallamos el contenido de las categorías —según la tipología propuesta—, dentro de las que se inscriben los artefactos metálicos de las naves analizadas. Las partes de madera que componen algunas de las piezas (e.g. las cureñas y las bombas de agua) no fueron incluidas.

CLASIFICACIÓN GENERAL

A. Estructura del casco

Elementos de sujeción

Clavos

Pernos

 Pernos pasantes

 Pernos remachados (con arandela)

 Pernos roscados con tuerca

 Pernos no pasantes

 Pernos para usos especiales

 Pernos con cáncamo

 Pernos con argolla

Accesorio externos e internos

 Revestimiento del forro (metálico)

 Chapas

 Tachuelas

 Curvas

 Herrajes

(funcionalmente) de manera exclusiva, así como con aquellos que no cuadraban dentro de las categorías establecidas.

Abrazadera del talón del tajamar
Grapas

B. Equipamiento náutico

Sistema de gobierno

Timón

Pala

Caña

Telera

Goznes y cáncamo de la cadena

Rueda

Sistema de fondeo y espía

Anclas

Anclas de leva

Anclas de esperanza

Anclas de espía

Anclotes

Rezones

Cabrestante

Aparejos

Sistema de achique

Bombas de achique o de sentina

Bombas aspirantes

Bombas de cadena

Bombas portátiles

Equipamiento de labor

C. Armamento

Artillería

Cañones

Carronadas y obuses

Cureñas

Pedreros

Municiones

Balas

Rasas o redondas

Encadenadas

Enramadas

- Estrelladas
- Bombas
 - Bombas de mortero
 - Granadas de mano
- Metralla
 - Tarros de metralla
 - Sacos de metralla
- Proyectiles no convencionales
- Utensilios de trabajo

D. Elementos de la jarcia

- Fija (o muerta)
 - Vigotas
 - Zunchos
 - Cadenas
- Móvil (o de labor)
 - Motones
 - Cuadernales de dos, tres y cuatro ojos
 - Roldanas
 - Ganchos

El desarrollo de la presente investigación, recordemos, gravita en torno a las primeras tres categorías. Sin embargo, esta abstracción analítica no implica eludir el hecho de que, en muchos casos, los diferentes elementos se encontraban íntimamente vinculados entre sí, más allá de las distinciones propias de la clasificación. Por ello, al tratar ciertos temas, también haremos referencia a algunos objetos que componen los últimos dos grupos.

Fuentes documentales

En este acápite presentaremos brevemente la problemática en torno al uso de fuentes documentales en Arqueología. Consideramos a estos medios de información como uno de los elementos importantes de esta investigación. Por ello

es que reservamos esta discusión de índole teórico-metodológica para el presente capítulo.

Las fuentes documentales primarias, tanto aquellas inéditas como publicadas, constituyen un aporte de primera mano al conocimiento de diversos aspectos sobre la tecnología naval de la época. La información escrita o gráfica que estas contienen es expresión de las miradas o representaciones contemporáneas sobre determinados temas. El uso e importancia de cada fuente en una investigación no puede ser definido a priori, de forma independiente a su carácter particular y a la problemática en la que se inserta. Todas requieren de un análisis, en especial en lo que a la rigurosidad de la información se refiere, labor que comienza por reconocer el tipo de documento (e.g. diarios de navegación, relatos de viajeros, tratados científicos, diseños de barcos, pliegos oficiales, registros de cargamentos, cartas personales, etc.), su autoría y las circunstancias de producción.¹⁶

El empleo de escritos es uno de los rasgos distintivos de la denominada Arqueología histórica. No obstante, aún en la actualidad no hay acuerdo acerca del rol que deben cumplir en la investigación. A lo largo de los años, el lugar que se le ha otorgado a la información en las interpretaciones —que en parte depende de la propia historia regional, así como del marco académico particular dentro del que se inscriben los trabajos— ha suscitado extensas y acaloradas discusiones. Las posiciones respecto de la definición de Arqueología histórica son diversas.¹⁷

¹⁶ En el caso de los barcos de los últimos siglos, suele existir una profusa cantidad de información documental. Por ello, resulta de suma importancia integrar los datos derivados de estas fuentes con aquellos obtenidos del análisis de la evidencia material (véase Martin 2001). Sobre los diferentes tipos de datos que pueden recabarse de los documentos históricos (escritos) usualmente disponibles, y su implementación para el estudio del patrimonio cultural marítimo (en especial para el estudio de naufragios), se puede consultar Alonso Villalobos y colaboradores (2010), Elkin y Argüeso (2010); entre otros.

¹⁷ Dejando a un lado las discrepancias teóricas y metodológicas, este rótulo conceptualmente heterogéneo es utilizado en la academia norteamericana —por extensión, fue adoptado en el resto de América—, que hizo una estricta separación entre prehistoria e historia, en función de la llegada de los europeos al continente. En Europa, el devenir de la disciplina fue muy diferente; se optó por una Arqueología compartimentada según períodos o regiones: clásica, medieval, post-medieval e industrial. El período de tiempo que abarca la Arqueología post-medieval no es rígido, aunque por lo general se cita como ca. 1450 - 1750 (otros extienden el límite tardío hasta el presente). Por otro lado, para muchos la Arqueología industrial no se refiere exclusivamente a la época comprendida entre los inicios de la industrialización (ca. 1750) y el presente, pero se trata de una división clásica, que la sitúa tras la Arqueología post-medieval (véase Minchinton 1983). La distinción entre ambas tradiciones —la americana y europea, cada una de estas con su particular concepción sobre la

Algunos académicos, desde una perspectiva metodológica, argumentaron que esta especialidad está abocada al conocimiento de las sociedades pasadas con escritura; otros, haciendo énfasis en la escala temporal, precisaron que se ocupa del estudio del proceso de expansión de las potencias marítimas europeas a principios del siglo xv y sus consecuencias en las regiones de ultramar (en América, sitios post-colombinos); y otros, más preocupados por los procesos, hicieron hincapié en los profundos cambios de índole social, económica y política del siglo xviii, así como en el nuevo orden capitalista que fue trasladado a escala global, y hablaron del campo como una Arqueología del capitalismo o del mundo moderno (e.g. Leone 1988; Orser y Fagan 1995; Johnson 1996; Orser 1996; Funari 1999; Funari et al. 1999; Hall y Silliman 2006; Hicks y Beaudry 2006; entre otros, y acerca de la relación entre Arqueología histórica y Arqueología marítima, en particular, consultar el artículo de Flatman y Staniforth 2006).

Cabe señalar que la mayoría de las propuestas, periodizaciones y esquemas anglosajones no expresan con claridad los alcances del campo en cuestión, ni pueden ser considerados de aplicación general. Las posiciones clásicas fueron criticadas no sólo por su fuerte sesgo europeo (Ramos 2006), sino también por ser perspectivas homogeneizadoras, que subsumen a la mayoría de las explicaciones dentro del proceso general de expansión del capitalismo (Pineau 2006) y, por ende, no permiten apreciar las múltiples sociedades modernas, caracterizadas por una amplia diversidad de discursos, representaciones y prácticas (Senatore y Zarankin 2005). Aquí consideramos a la Arqueología histórica como la especialidad que se ocupa de estudiar aquellos contextos para los que se cuenta con más de una fuente de información; en particular, del pasado humano en tiempos históricos, lo que supone la existencia y utilización de escritura (Ramos 2002, 2006).¹⁸ Es fundamental no perder de vista el hecho de que un período de tiempo determinado o la presencia de cierta evidencia (e.g. los documentos escritos) no son suficientes para definir por sí mismos el campo del conocimiento. De hecho, a

Historia, la Arqueología y la Antropología— permanecen vigentes, aunque ello no ha impedido el mutuo entendimiento o la posibilidad de encontrar puntos en común.

¹⁸ Ello no implica que el campo de la especialidad se circunscriba únicamente a las sociedades que registraron su historia por escrito. El interés se extiende no sólo a las sociedades iletradas inmersas en contextos históricos, sino también al caso de aquellas que —situación vigente aún en muchos lugares— se encuentran integradas por amplios segmentos o grupos minoritarios que adolecen de la falta de conocimientos y medios de escritura (Little 1994).

la luz de las recientes discusiones, la cuestión que caracteriza a la Arqueología histórica tiene que ver principalmente con la diversidad de nuevos escenarios y relaciones sociales (económicas, políticas, ideológicas, etc.) desarrolladas en todo el mundo durante los últimos siglos.

Dentro de este marco general, abogamos por incorporar los datos recabados de ambas fuentes de evidencia (arqueológica e histórica) a la investigación. La situación, sin embargo, es más compleja de lo que aparenta. Nos encontramos de inmediato con que esta consideración conjunta puede ser entendida en el sentido de complementación, confrontación, integración, tratamiento independiente y búsqueda de contradicciones (Senatore y Zarankin 2005). El dilema no yace en el uso de la información de carácter histórico para delimitar el contexto general —está claro que durante el siglo XVIII se desarrolló en Inglaterra un proceso de industrialización nunca antes visto—, sino en la capacidad explicativa de los documentos respecto de los problemas particulares de la investigación arqueológica. Las posiciones son diversas, según la disciplina en cuestión (Arqueología e Historia), e incluso dentro de la propia Arqueología histórica. En este último ámbito, una posición muy extendida sostiene que los datos de los documentos pueden ser de mucha utilidad para generar hipótesis de investigación, que deberán ser puestas a prueba por intermedio de la evidencia material (arqueológica) disponible, la que en definitiva parecería tener la última palabra en el asunto (e.g. Goñi y Madrid 1998; Dellino 2002; Elkin y Argüeso 2010). La posibilidad de brindar así un panorama alternativo al consignado en las fuentes documentales (que muchas veces representa la versión oficial), tiene un mérito importante. Sin embargo, creemos que esta estrategia no es la única forma significativa de integrar ambas líneas de evidencia.

No hay dudas sobre el hecho que la información contenida en los documentos representa cierto aspecto de la realidad de modo subjetivo, desde la óptica de individuos que se encontraban en determinada posición de conocimiento, interés, poder, etc. Los naufragios, por citar el caso que nos atañe, han sido tema de fascinación desde antaño. De resultas, en numerosas ocasiones quedaron retratados por el pincel de los artistas. La figura 5.7 corresponde a la primera pintura romántica realizada en Chile. La imagen es impactante; el artista buscó transmitir el dramatismo de la situación, adonde el barco volcado es azotado por

las olas y los naufragos en la costa solitaria se aferran a la vida luchando contra las fuerzas naturales. Al respecto, Cruz destacó que “el tema del naufragio fascina a los artistas románticos pues les permite cuestionar críticamente los excesos del racionalismo ilustrado y en el dilema entre naturaleza y cultura, que escinde el espíritu de la época, mostrar el triunfo de las fuerzas naturales y antirracionales en el escenario epocal” (Cruz 2004:13). Los valores, ideas, etc., volcados en una obra de estas características eran muy distintos a los que podían estar involucrados en el gálibo de un barco (véase el capítulo 6).



FIGURA 5.7 – “EL NAUFRAGIO DEL ARETHUSA”.

Óleo sobre tela (66 cm x 88 cm) del marino e ilustrador documental inglés Carlos C. Wood Taylor (1792-1856), en el que representa el trágico evento ocurrido en 1826 en las costas de Valparaíso, Chile.

Fuente: Museo Nacional de Bellas Artes, Chile. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Toda fuente documental requiere de un análisis particular, que puede redundar en información sobre diferentes aspectos, incluso más allá de los expresados. Es allí a donde yace la riqueza del material estudiado. En función del tipo de registro, podríamos hablar de distintos grados de rigurosidad, pero hasta cierto punto. La subjetividad continuará siempre presente. Y aún así, no por ello debemos subordinar las diversas fuentes documentales a la evidencia material. Gómez Romero sostuvo que todo arqueólogo histórico, en la práctica, reconoce que ambas líneas de evidencia y los datos que se derivan de estas coexisten sin inconvenientes mayores ni posiciones diferenciales (Gómez Romero 2005:137). En la mayoría de estos casos, las fuentes documentales se utilizan para caracterizar los artefactos, comprender su significación social, identificar a las personas bajo estudio o definir al contexto sociocultural a múltiples niveles (Wilkie 2006:16-19).

Resulta de lo anterior que, aunque la resolución del problema de investigación parezca desprenderse del análisis de los materiales arqueológicos, probablemente los datos históricos habrán sido parte integral de la descripción e interpretación del fenómeno en cuestión. Además, cualquier carácter provisional que se le pueda atribuir a las afirmaciones formuladas a partir de esta evidencia es, en definitiva, semejante al que poseen las interpretaciones basadas en los restos material de los sitios arqueológicos. Siguiendo a Bernstein, Wylie sostuvo que no existe una única línea argumental que pueda por sí misma asegurar una conclusión —ya sea de carácter interpretativo o explicativo— y, por ello, el peso acumulado de múltiples y diversas líneas de evidencia puede ser racionalmente decisivo. Ello no implica aceptar de forma acrítica cualquier tipo de información. Parafraseando a la autora, el hecho de que no haya un conjunto de consideraciones que sea absolutamente fundamental, de que no exista un hilo argumental concluyente, no supone la conclusión relativista de que ‘todo vale’ (Wylie 2002:163).

La información derivada de la evidencia arqueológica e histórica consiste en datos contruidos conceptualmente por el investigador, de allí que ambas fuentes deben ser sujetas a un proceso de crítica y contraste. En este sentido “...es más fructífero manejar alternativamente los dos tipos de datos en las instancias tanto de la formulación de hipótesis como de su puesta a prueba” (Pedrotta y Gómez Romero 1998:121, la traducción es personal). Con respecto a lo anterior, es fundamental realizar este proceso utilizando información independiente, es decir

que las hipótesis no deben ser contrastadas por intermedio de los mismos datos usados para formularlas (Kosso 1997).¹⁹ Cada línea de evidencia posee una capacidad explicativa; negar esta situación empobrecería los resultados de cualquier investigación (Pedrotta y Gómez Romero 1998). Lo anterior fue destacado también por Mrozowski (1999), que sostuvo la importancia de trabajar retroalimentando los datos de ambas fuentes. En definitiva, esta diversidad “...puede proporcionar puntos de vista superpuestos, en conflicto, o enteramente diferentes sobre el pasado” (Wilkie 2006:14, la traducción es personal).²⁰

Hace varias décadas, el arqueólogo británico Clarke concluyó que tanto los problemas como las ventajas que se derivan de la integración de la evidencia arqueológica e histórica son, en definitiva, semejantes a los que surgen en otros contextos interdisciplinarios, e.g. cuando en Arqueología se emplean datos procedentes de los análisis realizados en el ámbito de la Física y la Química (Clarke 1973:18). Así como en el caso de los estudios arqueométricos, creemos que una mirada integral —reiteramos, sin subordinar una fuente de análisis a la otra, pero considerándolas de forma crítica, según sus particularidades, ventajas y dificultades— permite alcanzar una comprensión más exhaustiva de la problemática bajo estudio.

Los estudios historiográficos no siempre suponen semejante controversia. Ello se debe, en parte, al lugar que ocupa la información por estos suministrada dentro de la investigación. Aquí, como suele hacerse en casos semejantes, los datos más generales sobre el período histórico fueron utilizados para delimitar el contexto sociocultural, económico y político dentro del que se inserta la problemática analizada. Además, tuvieron un rol especial a la hora de definir los aspectos fundamentales de la tecnología moderna, así como para delinear las características de la metalurgia y los barcos dentro del período y región que nos ocupa, de acuerdo con los objetivos de la investigación. Incluso, debemos señalar la cuantiosa

¹⁹ Orser y Fagan (1995) sostuvieron la necesidad de definir si un documento constituye una fuente independiente de información, en cuyo caso arrojará luz —diferente, pero complementaria a los datos suministrados por la evidencia arqueológica— acerca de un tema específico. Pero esta independencia resulta un tanto difícil de sostener, si se tiene en cuenta que ambas son resultado de las mismas prácticas culturales (Leone 1988, citado en Paynter 2000:15).

²⁰ Esta autora destacó incluso que el análisis de los documentos —entre los que incluye a los relatos orales— se realiza desde una posición diferente a la del historiador, que está guiada por la particular perspectiva antropológica y atención puesta en la materialidad (Wilkie 2006:16).

información sobre los cambios en torno a los conocimientos, materiales y métodos, que resultó de sumo interés para evaluar la dinámica del proceso en el caso de los metales utilizados en el ámbito naval.

A la hora de analizar comparativamente la tecnología de los barcos de guerra de las potencias consideradas debemos tener cuenta la siguiente cuestión, que puede suponer serios inconvenientes interpretativos. Muchas veces, cada nación ha visto en sus acciones las más grandes proezas, incluso en ocasión de derrota, y no siempre se tuvo la deferencia de reconocer la grandeza y los logros del enemigo. Las interpretaciones contemporáneas (i.e. de los propios participantes de un evento) en torno a cuestiones especialmente susceptibles de la subjetividad del observador (e.g. las características marineras y veleras de un barco; y la estimación del número total de bajas y heridos, así como de pérdidas materiales durante una batalla, reportados por uno y otro bando) pudieron verse influidos por motivos de índole política y/o económica, entre otros, que así les habrían impreso un carácter específico. Esta tendencia ha quedado reflejada en diferentes documentos de la época (e.g. las obras pictóricas), mensaje que puede reconocerse además en interpretaciones ulteriores, inclusive en algunos de los escritos académicos que tratan sobre la historia naval de los respectivos actores. De allí la dificultad de establecer una escala que permita comparar los barcos de los diferentes estados únicamente sobre la base de consideraciones cualitativas generales. Aquilatar los éxitos de uno y otro sigue siendo tarea esencial de las disciplinas históricas. Conscientes de esta situación, aquí intentaremos circunscribirnos a los datos sobre los que hay mayor acuerdo entre las partes, haciendo mención de las discrepancias toda vez que estas representen información de interés para la investigación.

Métodos e instrumental de análisis de laboratorio

Primera aproximación a los artefactos

El estudio preliminar de las colecciones de artefactos de interés para nuestra investigación consistió en la observación a ojo desnudo, el relevamiento y el registro métrico y fotográfico de los materiales disponibles. Las principales

variables consideradas fueron las siguientes: forma, dimensiones, peso,²¹ color, marcas superficiales y estado de preservación (algunos de estos atributos fueron además considerados en tanto en cuanto indicios parciales de la materia prima y el proceso de manufactura empleados). Para ello, tuvimos en cuenta las recomendaciones disponibles en diferentes obras de referencia (e.g. Summer Institute in Material Science and Material Culture 2003).

El trabajo con cada una de las piezas, así como la toma de muestras, se llevó a cabo dentro de los depósitos donde yacen las colecciones (véanse los anexos 6 a 10). En la práctica, la mayor parte de estos objetos no pudo manipularse por fuera de estos repositorios, por lo que se buscó obtener una base de información lo más exhaustiva posible, que pudiera utilizarse para realizar luego un examen morfológico-funcional. Estos datos contribuyeron a definir los criterios para la selección de muestras que fueron objeto de análisis físico-químico.

Caracterización físico-química de las muestras

Actualmente existe una ingente cantidad de conocimientos, métodos e instrumental de análisis que se aplican en el campo de la caracterización, gracias a los adelantos disponibles en el ámbito de la metalurgia y a las disciplinas asociadas a esta, tales como la Ingeniería, las ciencias físico-químicas y la ciencia de materiales. Mediante estos fue posible desarrollar y profundizar las investigaciones que involucran materiales metálicos provenientes de sitios arqueológicos, en particular de naufragios históricos.²² Así, los resultados obtenidos han permitido ampliar el abanico de posibilidades de conocimiento sobre diversas temáticas, que trascienden los estudios morfológico-funcionales tradicionales —propios de una primera instancia de análisis de las características formales de los objetos— y

²¹ El peso de los objetos se midió preferiblemente sobre aquellos que ya estaban conservados (libres de incrustaciones y secos). En ocasiones, debido a que algunas piezas se encontraban aún en proceso de estabilización durante las tareas de relevamiento, fue necesario pesarlas en condición húmeda. No obstante, los datos suministrados en este trabajo por lo general corresponden a artefactos secos. Los de mayores dimensiones (e.g. las balas de cañón) se pesaron en diferentes balanzas digitales (no analíticas), disponibles en los laboratorios donde están almacenados.

²² Muchas de estos medios analíticos son también empleados en el ámbito de la conservación de metales y otros materiales (véase Cronyn 1990; Arano Recio 2010; entre otros).

aportar información acerca de aspectos para los que el registro histórico previo era nulo o, si bien existente, muy general y escueto, e incluso contradictorio.

La caracterización físico-química de los objetos y muestras de esta investigación se llevó a cabo en los siguientes laboratorios, donde contamos con la desinteresada colaboración de diferentes especialistas en la materia:

- i. Laboratorio de Materiales del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FI-UBA). Responsable: Horacio De Rosa.
- ii. Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido del Centro de Mecánica del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI-Mecánica), Buenos Aires. Responsable: Gisela Maxia.
- iii. Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X de la Gerencia Química del Centro Atómico Constituyentes, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA – Gerencia Química), Buenos Aires. Responsable: Cristina Vázquez.
- iv. División Química Instrumental del Departamento de Metalurgia de la empresa ABS Corp., Buenos Aires.
- v. Laboratorio de Química analítica del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (Centro Regional Córdoba), ciudad de Córdoba. Responsable: Graciela L. Pandolfi.
- vi. Centro de Microscopías Avanzadas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (CMA-FCEyN-UBA). Responsable: Lía I. Pietrasanta.

En función del tipo de información requerida, se utilizaron los siguientes métodos e instrumental de análisis (entre paréntesis consignamos la institución adonde se encuentran los equipos).

- A. Observación macroscópica preliminar y examen de las propiedades mecánicas:
 - i. Estereomicroscopía óptica (OSM): lupa trinocular Arcano ZTX (FI-UBA).
 - ii. Medición del peso: balanza analítica OHAUS, modelo AS 200 (FI-UBA).

- iii. Ensayo de dureza Vickers (HV): microdurómetros Zwick Z3.2A y EMCO Test (FI-UBA); y Shimadzu 2000 (INTI-Mecánica).
- iv. Radiografía (XR): equipo de rayos X marca Siemens, Polidoros 30/50. De forma complementaria, se realizaron observaciones con un amplificador de imagen marca Siemens, Sirescop Cx (Hospital Municipal de Puerto Deseado).

B. Análisis microestructural:

- v. Microscopía óptica (OM): microscopios ópticos metalográficos Reichert Me F y FOCUS MMI-5T (FI-UBA); y Zeiss Axiotech (INTI-Mecánica) (Fig. 5.8).
- vi. Microscopía electrónica de barrido (SEM): microscopios Philips, modelo SEM-505; QUANTA FEG 250 (INTI-Mecánica); y Zeiss, modelo Supra 40 (CMA-FCEyN-UBA) (Fig. 5.9).



FIGURA 5.8 – MICROSCOPIO ÓPTICO METALGRÁFICO REICHERT ME F.

Equipo perteneciente al Departamento de Ingeniería de la FI-UBA y utilizado regularmente por los investigadores del Grupo de Arqueometalurgia.

Fotos: M. Lucchetta 2010.



FIGURA 5.9 – MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO QUANTA FEG 250.

Equipo perteneciente al Centro de Mecánica del Instituto Nacional de Tecnología Industrial, empleado para analizar varias muestras de la presente investigación.

Fotos: N. Ciarlo 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

C. Determinación de composición química elemental:

- vii. Espectroscopia de rayos X dispersiva en energía (EDS): microsonda EDAX, modelo Génesis, acoplada al SEM Philips, modelo SEM-505 (INTI-Mecánica); y microsonda Oxford Instruments, modelo INCA x-sight, acoplada al SEM Zeiss, modelo Supra 40 (CMA-FCEyN-UBA).
- viii. Fluorescencia de rayos X de dispersión por longitud de onda (WDXRF): espectrómetro PANalytical Venus Minilab 200 (CNEA – Gerencia Química).
- ix. Espectrometría de emisión óptica mediante excitación por chispa (OES): espectrómetros Spectro, modelo SPECTROTEST TXC 25 (equipo portátil) y modelo MAXx LMF05 (equipo de banco), ambos con curva de calibración incorporada (ABS Corp.) (Fig. 5.10); y espectrómetro

multibase Spectronic, modelo Spectrolab LVAWA M8A (INTI – Regional Córdoba).

- x. Espectrometría de absorción atómica (AAS): espectrómetro Varian, modelo Spectr AA5 (ABS Corp.) (Fig. 5.11).
- xi. Espectrometría infrarroja (IR): equipo LECO, modelo CS 400, con calibración anterior al uso (para la determinación de carbono y azufre en los artefactos de hierro) (ABS Corp.).



FIGURA 5.10 – ESPECTRÓMETRO, SPECTRO, MODELO MAXx LMF05.

Equipo de espectrometría de emisión óptica mediante excitación por chispa, perteneciente a la División Química Instrumental del Departamento de Metalurgia de la empresa ABS Corp.

Fotos: N. Ciarlo 2012.

Los artefactos objeto de análisis fueron seleccionados a partir de un muestreo no aleatorio dirigido, teniendo en consideración los diferentes interrogantes planteados con relación a la tecnología naval.



FIGURA 5.11 – ESPECTRÓMETRO VARIAN, MODELO SPECTR AA5.

Equipo de espectrometría de absorción atómica, perteneciente a la División Química Instrumental del Departamento de Metalurgia de la empresa ABS Corp.

Foto: N. Ciarlo 2012.

Las muestras se obtuvieron de diferentes secciones de las piezas (e.g. transversales y longitudinales), en razón de sus características y de la información buscada. Los cortes se realizaron de modo que fuera posible obtener superficies planas y regulares, sobre todo en el caso de las piezas más pequeñas y delicadas. La operación fue manual, por medio de sierra de arco (con una hoja de acero rápido) y a una velocidad controlada. Una vez obtenidas, fueron preparadas según los requerimientos de cada uno de los análisis. La siguiente descripción sucinta vale para la mayor parte de los casos sobre los que trata la tesis.

Las muestras para examen por medio de OM suelen montarse en un soporte especial, conocido como cápsula, a fin de facilitar su manipulación y lograr una superficie de observación adecuada. En nuestro caso, dado el tamaño de algunas muestras, estas pudieron trabajarse directamente. Con respecto a las demás, el montaje se realizó unas veces en caliente y otras, en frío. La primera modalidad requiere del uso de una máquina especial, denominada incluidora, en la que se coloca la muestra y una resina fenólica, que polimeriza al aplicarle presión y calor. Aquí utilizamos bakelita y una máquina Vaccaro Hnos., mod. VH141 (FI-UBA). La

segunda, en cambio, consiste en ubicar la muestra dentro de un molde abierto por ambas caras (e.g. un segmento de tubo de PVC), que se llena cubriendo la muestra con una resina acrílica autocurable (mezcla de monómero y polímero); una vez que esta fragua, la inclusión es desmoldada. Una de las ventajas del montaje en frío es que permite mayor flexibilidad con relación a la forma y el tamaño de las muestras. Además, posibilita trabajar con materiales de bajo punto de fusión (e.g. plomo), evitando el riesgo de alterar sus características microestructurales por efecto de la temperatura.

El siguiente paso de la preparación es eliminar las imperfecciones del proceso de corte, así como obtener una superficie plana sobre la cual realizar el pulido posterior. Para ello, las muestras fueron desbastadas en forma manual (también pueden emplearse pulidoras mecánicas) con papeles abrasivos (lijas al agua) desde una granulometría de 80 hasta 1.000. Luego, se pulieron con alúmina de 1 a 0,05 μm , mediante el uso de paños especiales colocados en platos giratorios, hasta lograr una superficie perfectamente espejada. Para las muestras de plomo y cobre, en la última instancia de pulido se utilizó pasta de diamante de 1 a 0,25 μm .

Una vez pulidas a espejo, las muestras fueron observadas bajo el microscopio. Y finalmente, a fin de revelar su microestructura, fueron atacadas con diferentes reactivos químicos, de acuerdo a lo establecido en la norma (ASTM E407). Para los objetos de hierro se utilizó Nital 2 o 3 (NO_3H al 2% o 3%, respectivamente, en alcohol etílico); para los de cobre y aleación de cobre, una solución de NH_4OH , H_2O_2 , H_2O (ocasionalmente también se empleó HCl , FeCl_3 , H_2O); y para los de plomo, una solución de CH_3COOH , H_2O_2 . Las muestras fueron observadas con diferentes magnificaciones entre ca. 100 y 400 aumentos, que se registraron mediante fotografía digital.²³

Los ensayos de dureza Vickers se realizaron sobre la superficie de las probetas utilizadas para el análisis microestructural. Los valores obtenidos se promediaron entre un mínimo de cinco mediciones (en las tablas se especifica el desvío estándar, a continuación de la media, con la notación \pm). Para las piezas de hierro,

²³ Los dos microscopios ópticos más modernos cuentan con un sistema de cámara acoplada. En el caso del equipo Reichert Me F, para la captura de las metalografías fue necesario acoplar manualmente el objetivo de una cámara digital al ocular del equipo; la escala, acorde a los aumentos de cada toma, se incorporó posteriormente a cada una de las imágenes mediante un programa de edición.

cobre y aleación de cobre, la carga utilizada por lo general fue de 0,3 kg y 1 kg, según el caso (excepcionalmente, se empleó 3 kg), mientras que para las piezas de plomo se usó 0,1 kg.

Muchas de las muestras analizadas por medio de microscopía óptica fueron examinadas de modo complementario mediante SEM. El espacio reducido de la recámara de los equipos utilizados impidió en nuestro caso analizar piezas enteras. Las únicas que habrían podido ser observadas en este estado fueron las tachuelas, las balas de metralla y la munición de plomo, aunque todas estas muestras, a los fines de la investigación, debieron ser segmentadas a la mitad. En líneas generales, todas las muestras requirieron de una preparación superficial, semejante a la descrita para el caso de la metalografía óptica. En este caso, a fin de obtener un revelado más acusado de la microestructura, el tiempo de ataque con reactivos químicos fue ligeramente más prolongado. Por otro lado, debido a que el SEM requiere que las muestras sean buenas conductoras, aquellas que habían sido analizadas mediante microscopía óptica y que permanecían encapsuladas, fueron metalizadas con oro en un equipo Edwards S150B (INTI-Mecánica). Las probetas previamente incluidas en resina fenólica conductora no requirieron de esta última preparación.

La determinación de composición química mediante EDS realizó sobre las muestras preparadas del modo referido para el examen mediante SEM. La presencia de un pico de oro en las muestras metalizadas fue atribuida a este proceso, y por ello desestimada de la cuantificación. Para el análisis global (sobre áreas de la superficie) se consideró un mínimo de tres mediciones promediadas; a excepción de las tachuelas, para las que se tuvieron en cuenta cinco mediciones desde la cabeza hasta la punta. Esta técnica también permitió examinar la composición de los materiales a nivel puntual (esto fue de suma utilidad en el caso de las inclusiones). Aquellos valores registrados por debajo del 0,5%, debido a la error característico de esta técnica, se consignan como <0,5%. Por la misma razón, todas las cifras se expresan de modo aproximado, por redondeo, con una precisión del orden del 0,5%.

Los estudios por medio de WDXRF también se llevaron a cabo sobre pequeñas muestras de artefactos, que debieron ser preparadas mediante un proceso de desbaste superficial hasta una granulometría de 1000. El análisis por medio de OES,

en cambio, se realizó sobre un área plana, pero desbastada con lija de grano 120 (una superficie especular puede alterar los resultados). El equipo portátil de OES permitió analizar uno de los artefactos, al que no se le podía extraer una muestra, de forma directa, sobre un sector desbastado. Por último, para llevar a cabo los análisis de AAS fue necesario disolver unos pocos gramos de muestra.

Estas últimas técnicas poseen mayor sensibilidad con respecto al análisis de EDS, por lo que permitieron determinar la composición elemental de los materiales en el orden de las partes por millón (ppm), es decir que fueron de especial utilidad para el estudio de los elementos minoritarios de la aleación y aquellos presentes en el nivel de traza. Teniendo en cuenta el deterioro al que están sujetos los materiales en el medio marino (véase más abajo), se procuró que todas las muestras seleccionadas para determinación de composición química (i.e. EDS, WDXRF, OES y AAS) estuvieran en condiciones aptas. A fin de obtener un resultado preciso, las zonas afectadas por la corrosión fueron previamente desbastadas, hasta obtener una superficie que no presentara indicios de deterioro.

Tal como destacamos más arriba, este tipo de análisis permitió disponer de un corpus de datos sobre los artefactos pasible de ser comparado entre los diferentes sitios del período, así como entre estos y la información obtenida por otros profesionales en varios casos de interés para esta investigación.²⁴ Los resultados de estos estudios se detallan, para cada uno de los sitios, en los respectivos anexos.

Consideraciones varias sobre la interpretación de los datos

En el capítulo anterior realizamos algunas consideraciones generales sobre el alcance y las limitaciones de los análisis de caracterización de materiales, con foco en los metales. Señalaremos aquí algunas cuestiones de relevancia con respecto a los datos que pueden obtenerse a partir de los análisis antes descritos, en particular los utilizados para determinar la composición química de las muestras,

²⁴ En numerosas ocasiones a lo largo de la historia de la ciencia, términos y variables de índole cualitativa y comparativa fueron dando lugar a otros de carácter métrico o cuantitativo. En líneas generales, puede decirse que ello constituyó un notable avance en lo que a las herramientas conceptuales respecta (Gianella 1995:92). En nuestro caso, las variables métricas consideradas revisten especial interés para analizar comparativamente los diferentes sitios.

en relación a las características del tipo de evidencia material que manejamos en esta investigación. Nos interesa señalar algunas precauciones que deben tenerse al momento de procesar los datos obtenidos, que de no ser evaluados de forma apropiada pueden ocasionar problemas en las interpretaciones.

Dejando a un lado las particularidades de cada instrumental, hay dos cuestiones fundamentales a considerar de la evidencia bajo estudio, que guardan íntima relación entre sí: la heterogeneidad del material de cada artefacto y la diversidad presente al interior de cierta categoría de objetos. Varios factores influyen sobre esta variabilidad. Lo primero que debemos considerar es la tecnología de producción de la época y la funcionalidad de las piezas. En segundo lugar, y esto vale en particular para el caso de los artefactos que se encontraban en uso, la historia de vida de los barcos. Como tercera medida, es necesario tener en cuenta los efectos del deterioro sufrido por los objetos a lo largo del tiempo, en especial desde su depositación, i.e. las transformaciones de origen natural y antrópico que se produjeron en el sitio. En cuarto término, entra en juego el sesgo que es propio del proceso de excavación y muestreo.

Cada una de las variables mencionadas es en parte responsable del estado en que se encuentran los objetos hoy día e influyen significativamente sobre las interpretaciones basadas en los análisis. Tendrán consecuencias a múltiples niveles, desde un objeto en particular hasta colecciones de uno o varios sitios. Veamos con un poco más de detalle algunas de las cuestiones anteriores.

- **Producción y uso:**

A nivel microestructural, teniendo en consideración la heterogeneidad de los metales, no puede hablarse en rigor de dos piezas idénticas. La variabilidad en la composición química y la estructura de un objeto se debe mayormente a procesos relacionados con su historia, desde la obtención de la materia prima utilizada hasta el deterioro posterior al uso. Con relación a la manufactura, Charles analizó las diferencias que presentan las aleaciones en su composición debido al proceso de

solidificación e hizo hincapié en la necesidad de realizar múltiples muestreos para el estudio de materiales de procedencia arqueológica (Charles 1973:114).

Es sugerente el estudio desarrollado por MacLeod y Ritchie (1981) sobre varias monedas de plata, algunas provenientes de dos naufragios holandeses del siglo XVIII. La medición del potencial de corrosión de las piezas les permitió identificar las variaciones existentes entre la superficie (plata) y el interior (cobre), que resultaron indicativas de la presencia de falsificaciones. En los capítulos siguientes volveremos sobre el tema de la variabilidad asociada al proceso de producción y uso de los diferentes componentes de metal.

La situación se complejiza si consideramos como opción el reciclado de objetos (refundición), e.g. para la fabricación de cañones. Esta era una práctica habitual en época moderna, en particular frente a los problemas de abastecimiento que sufrieron algunos países en tiempos de guerra. Un caso singular con respecto a las piezas de bronce empleadas por los franceses durante las Guerras Napoleónicas fue el de la refundición de las campanas de las iglesias (véase Pollard 2013). Los análisis de composición química de las evidencias procedentes de naufragios son sugerentes al respecto (e.g. MacLeod y Pitrun 1986:4).

- Barcos con historia:

La cuestión de la propia historia de las naves también resulta primordial a la hora de estudiar los materiales procedentes de naufragios. Los barcos estaban sujetos a diversas reparaciones y/o modificaciones a lo largo de su historia de servicio. En ocasiones, por ejemplo cuando un barco de comercio se adaptaba para su uso en el ámbito de la marina de guerra, debían realizarse cambios importantes en torno a la estructura y la artillería, entre otros aspectos. Respecto al aumento en la cantidad de cañones, podemos citar el caso del barco pirata inglés *Queen Anne's Revenge* (ca. 1713-1718), ex *Concorde*, nave francesa de 300 toneladas utilizada

para el tráfico de esclavos, que incrementó su artillería de 14-16 cañones a alrededor de 40 piezas (Lusardi 2000).²⁵

Respecto de las operaciones de acondicionamiento, usualmente más modestas, nos interesa mencionar el caso de los elementos de sujeción. Dado que estas actividades solían realizarse en astilleros lejanos, las piezas y los métodos utilizados no necesariamente reflejan aquellos predominantes en las instalaciones donde el barco fue construido. Más aún, en el caso de los barcos que tuvieron una extensa vida y han sido objeto de numerosas reparaciones, pudieron existir cambios en la forma y la composición de los objetos, incluso dentro de un mismo astillero (McCarthy 2005:130). Al respecto, cabe mencionar el caso del *HMS Sirius* (1782-1790), ex *Berwick*. Este barco fue construido con pernos de hierro y, años más tarde, fue revestido con planchas de cobre, momento en el que se le adicionaron algunos ejemplares de este último material, como precaución ante la posible falla de la pernería original. Además, fue abastecido con pernos de repuesto (*spare copper fastening bolts*), que eran llevados a bordo. La investigación de este sitio estuvo destinada a analizar la historia de vida de este barco, y los diferentes materiales empleados en las sucesivas instancias de fábrica (reconstrucción) y recorrido, indicios de los cambios ocurridos en la tecnología de construcción naval en Inglaterra a finales del siglo XVIII. Con miras a evaluar las características de esta nave con relación a otros barcos contemporáneos de diseño estándar (barcos de guerra), fue necesario considerar al *Sirius* bajo tres modalidades diferentes: el *Berwick*, como un mercante del Báltico similar al *Endeavour* y *Resolution* de Cook; el *Berwick*, como un transporte naval artillado, parecido al *Porpoise* y *Elephant*; y el *HMS Sirius*, una (símil) fragata de 20 cañones, comparable en muchos aspectos con el *HMS Pandora*. Los análisis efectuados sobre varios objetos de este sitio (e.g. goznes del timón, pernos de hierro y cobre y planchas de revestimiento de cobre con diferentes tenores de impurezas) son testigo de las instancias de reparación a las que estuvo sujeto el barco (véase Stanbury 1994, 1998).

²⁵ Respecto de la identificación de los restos localizados en la ensenada Beaufort como el *Queen Anne's Revenge*, Lusardi resaltó que la mayoría de los artefactos recuperados del naufragio, así como la estructura de la nave, son muy similares a los de la galera pirata *Whydah* (1717). En consecuencia, según este autor la evidencia muestra que ambos barcos eran contemporáneos, surcaron las mismas regiones y estuvieron involucrados en actividades similares (Lusardi 2000:66).

- Deterioro post-naufragio:

La situación se complica sobremanera al analizar objetos metálicos (e.g. de hierro y cobre) que fueron recuperados de un medio marítimo y que han estado afectados por procesos de deterioro físico-químico durante décadas o cientos de años (véase North y MacLeod 1987; Pifferetti 2001, entre otros). Los artefactos procedentes de naufragios de época clásica y moderna son testimonio de las buenas prestaciones que tienen ciertos materiales dentro del medio marítimo (véase Tylecote 1977; para un análisis sobre el tema). No obstante, las transformaciones que suelen sufrir a nivel superficial las piezas depositadas en este ambiente deben ser consideradas a la hora de efectuar ciertos análisis e interpretaciones a partir de los datos generados, en especial de aquellos de naturaleza cuantitativa.

El caso de la corrosión galvánica es ilustrativo al respecto. Esta se genera por el contacto eléctrico de dos metales o aleaciones de distinta composición, expuestos a un electrolito. Básicamente, el metal menos noble (más activo) actúa como ánodo y experimenta corrosión —los átomos del metal ceden electrones, que se convierten en iones y pasan a la solución— mientras que el más inerte (menos activo) o cátodo, queda protegido.²⁶ Este fenómeno puede ocurrir entre dos o más artefactos, un objeto formado por varias piezas de diferente composición o incluso una única pieza fabricada en una aleación con más de una fase.

Algunos de los objetos utilizados en el ámbito marítimo estaban sujetos a este tipo de corrosión, como ya veremos. El deterioro ocasionado por este fenómeno también es evidente en los sitios arqueológicos sumergidos. En ocasiones, artefactos de hierro que permanecieron por tiempos prolongados en contacto con piezas de cobre o aleación de cobre, se deterioraron por completo. Por otro lado, ciertas aleaciones de cobre (e.g. cobre-zinc) expuestas a las condiciones antedichas

²⁶ Allende las reactividades relativas de los metales, expresadas idealmente en la serie de fuerzas electromotrices, es posible obtener una idea más realista por intermedio de la serie galvánica, que representa el comportamiento de varios metales y aleaciones comerciales en agua de mar, respecto de un electrodo patrón. Según la ubicación de las aleaciones en dicha serie es posible determinar cuál se comporta como ánodo y cuál como cátodo, cuando se ponen en contacto. Algunos de estos materiales (e.g. las aleaciones de cobre) pueden agruparse y corren poco riesgo de corrosión al entrar en contacto entre sí. Por otro lado, la velocidad del ataque depende de la relación de las áreas anódica y catódica expuestas al electrolito, así como del tiempo de exposición de los materiales a este último (véase Callister 1996:566-599; Askeland y Phulé 2004:943-971; Groyzman 2010:62-72; para mayor información técnica sobre este tema).

han sufrido un deterioro con pérdida selectiva de uno de los aleantes (en el caso anterior, el zinc). MacLeod y Pitrun demostraron que las condiciones de un sitio (e.g. cloruros, temperatura, corriente, oxígeno disuelto, etc.) pueden tener consecuencias dispares en aleaciones de cobre de similar composición, y por otro lado, que pequeñas concentraciones de ciertos elementos y ligeras diferencias en la microestructura de las piezas pueden dar lugar a variaciones significativas con respecto a los mecanismos de corrosión (MacLeod y Pitrun 1986).

Esto último reviste especial interés a la hora de realizar algunos análisis (e.g. determinación de composición química), cuyos resultados pueden ser más representativos del estado actual de los objetos que de su condición original. Esta información puede ser aprovechada por un conservador para decidir utilizar uno u otro tratamiento, pero debe ser manejada con recaudo al momento de llevar a cabo ciertas interpretaciones históricas. En definitiva, como afirmó McCarthy para el caso de los elementos de sujeción, no puede asumirse que la composición de una pieza permanecerá uniforme a lo largo del tiempo (McCarthy 2005:141). Por ello, también es fundamental evaluar en cada caso cuál es el instrumental de análisis más adecuado para obtener un resultado cuantitativo preciso (véase Giunlia-Mair 2005; para una discusión sobre los pros y contras de varias técnicas).

Lo anterior tiene serias implicaciones con respecto al empleo de la composición química y microestructura de una muestra como marcador (o “huella digital”) de las coordenadas espacial y temporal del objeto. Los elementos constitutivos del material y el modo de fabricación pueden contribuir a precisar, en el caso de algunos objetos y por medio de datos de referencia (e.g. registros de patentes, artefactos de naufragios estudiados anteriormente), aquellas coordenadas (e.g. Bethencourt 2010).²⁷ Lo anterior reviste especial interés a la hora de identificar un sitio arqueológico, e incluso en el caso de aquellos restos para los que no se dispone de información contextual (e.g. hallazgos aislados). No obstante, es

²⁷ Los análisis de procedencia a partir de la identificación de elementos traza comenzaron a desarrollarse en la década de 1960. Los estudios se aplicaron primeramente a la obsidiana, pero luego se extendieron a otros materiales, inclusive los metales (e.g. cobre, plomo, plata, oro y hierro). Los medios analíticos más empleados son aquellos que permiten realizar una determinación de la composición elemental o isotópica de los materiales (e.g. OES, AAS, NAA, XRF, EPMA, PIXE, ICP-AES, ICP-MS). Uno de los principales requisitos para realizar este tipo de análisis es disponer de un registro de las fuentes minerales relevantes para la región estudiada (véase Tykot 2004). Rehren y Pernicka hicieron un breve recuento de los análisis isotópicos para la investigación de la proveniencia de metales (Rehren y Pernicka 2008:238,239).

fundamental que para realizar este tipo de estimaciones se tengan en consideración los problemas asociados al deterioro de los materiales expuestos en un medio como el agua de mar.

- Condiciones de muestreo:

En el capítulo anterior mencionamos brevemente la problemática que existe en torno a las excavaciones de los sitios. Ahora bien, las actividades de investigación post-excavación suelen generar aún mayor controversia, en particular aquellas que suponen el análisis de materiales. De acuerdo con Rehren, es clave evaluar si la información que puede obtenerse supera —en términos de conocimiento— o cuando menos compensa los requerimientos necesarios para llevar los estudios a cabo, en especial si la integridad de los restos se ve comprometida (véase Rehren 2002). En los últimos años, la vista se ha tornado cada vez más hacia los análisis de tipo no-destrutivo o poco invasivos, aunque las ventajas que estos suponen también deben evaluarse a la luz de los resultados y otras cuestiones técnicas (véase Biró 2005). En el presente trabajo se optó por la extracción de muestras, que alteraron de algún modo la integridad física de los objetos, según el caso, teniendo en cuenta la información pasible de ser obtenida mediante su análisis y, sobre todo, que ninguno era de carácter excepcional.

Con respecto a lo anterior, Scott llamó la atención sobre el problema de la representatividad de una muestra con relación a la estructura completa de un objeto (Scott 1991:58). El grado de parcialidad debe pensarse en términos relativos, ya que dependerá de varias cuestiones, tales como la complejidad del propio artefacto, el sector muestreado, el estado de conservación del material, la información que se pretende obtener y el tipo de análisis que se lleve a cabo. En este sentido, cada situación demandará una estrategia de estudio particular.

Así como la composición química, por las razones expuestas más arriba, puede ser variable según el sector de la pieza, la microestructura que refiere al proceso de manufactura también es capaz de presentar diferencias significativas al interior de un mismo artefacto. Lo anterior dependerá en gran medida del tipo de objeto en

cuestión. Podemos citar, en lo que a este estudio concierne, el caso de las tachuelas del revestimiento de forro y las anclas como ejemplos que se encuentran en extremos opuestos del gradiente. En función de su forma y tamaño, así como del método de manufactura empleado usualmente, es esperable que las primeras exhiban una composición y microestructura con escasas diferencias a lo largo de toda la pieza, mientras que puede estimarse lo contrario en el caso de las anclas. Esta evaluación *a priori* tiene implicancias para la toma de muestras.

En función de lo anterior, en todos aquellos casos en que fue posible realizar las mediciones con los diferentes instrumentos —sobre todo a la hora de analizar la composición química del material— se realizaron sobre la microestructura interna (*bulk structure*, en inglés), que no presentaba alteraciones. Para ello fue necesario seccionar y desbastar una o varias probetas de los artefactos bajo análisis. Aún así, en el caso de las piezas con un cuerpo muy delgado (e.g. las chapas del revestimiento) la extensión del deterioro superficial, según se observó mediante metalografía, impidió en varias oportunidades disponer de una superficie para análisis que presentara las condiciones originales. Este procedimiento de muestreo se llevó a cabo con el objeto de evaluar aspectos vinculados al proceso de manufactura de los artefactos. En concordancia con este criterio, en algunos casos la forma y el tamaño de las piezas demandaron que se realizara un muestreo de diferentes sectores, junto con cortes (vistas) de un mismo lugar (e.g. longitudinal y transversal). A fin de ampliar esta modalidad de trabajo, que responde a determinados objetivos de investigación, oportunamente se comentarán los pormenores de cada caso.

La cantidad de objetos analizados (de un mismo tipo) también merece especial atención. Aquí también son varios los aspectos a tener en consideración. Contar con un corpus de evidencia íntegro, asociado a un contexto arqueológico bien definido, es un punto de partida deseable. De ello dependerá en muchos casos la posibilidad de realizar una adscripción temporal y espacial de los hallazgos (cuando menos del conjunto), así como de identificar el uso de los restos en cuestión, aspecto que resulta de suma utilidad para el estudio de aquellos objetos que fuera de su ubicación primaria suelen presentar un carácter ambiguo (e.g. los pernos de la estructura del casco). El proceso de selección está a su vez condicionado por el número (conocido o estimado) de piezas al interior del sitio. Aquí también

encontramos amplias diferencias entre los distintos tipos de artefactos para las que vale el ejemplo anterior de las tachuelas y las anclas: hacia finales del siglo XVIII, un navío británico de 74 cañones requería varios cientos de miles de las primeras y llevaba a bordo seis de las otras. Lo anterior, por supuesto, dependerá del problema de investigación particular, que en definitiva será de primordial importancia a la hora de definir la cantidad de muestras y el tipo de análisis a realizar.

Cabe destacar que las aplicaciones estadísticas son esenciales para definir asociaciones significativas —evaluadas a la luz del problema de estudio— a partir de los datos disponibles (e.g. Shennan 1992, entre otros). Su utilidad para el análisis de conjuntos numerosos de piezas, desde la etapa de muestreo hasta la de interpretación de la información recabada, está ampliamente reconocida en la actualidad. Las investigaciones con colecciones de monedas sirven para ilustrar este punto (e.g. Lockyear 1996; Smith 1996). Es probable que muchos de los objetos recuperados de naufragios, salvo algunas excepciones (e.g. cargamentos de monedas, proyectiles o clavazón), no constituyan la información —de tipo experimental— ideal para los tests estadísticos, debido a su reducido número y carácter no aleatorio. Esto es propio de la evidencia disponible, independientemente de la estrategia de muestreo que opere sobre ella. Lo anterior, que puede considerarse como una limitación para analizar ciertas problemáticas, se tuvo presente al momento de considerar el alcance de las interpretaciones derivadas de los análisis arqueométricos.

Hemos planteado los objetivos directrices del trabajo, los métodos de análisis utilizados y algunas consideraciones teórico-metodológicas de interés para la investigación. En los capítulos que siguen presentaremos y discutiremos los resultados obtenidos.



SEGUNDA SECCIÓN

RESULTADOS Y DISCUSIÓN: ANÁLISIS ARQUEOLÓGICO E
HISTÓRICO DE LA TECNOLOGÍA NAVAL

Capítulo 6

EL CASCO de los BARCOS

En este capítulo discurriremos sobre los elementos de sujeción estructurales (pernos y clavos) y el revestimiento de forro (chapas y tachuelas) de los barcos de madera. Estos elementos eran fundamentales por lo siguiente: los primeros mantenían en su lugar los componentes de madera que formaban el casco (quilla, cuadernas, curvas, baos, etc.), mientras que el segundo servía para proteger el fondo de la acción de los organismos marinos que atentaban contra la integridad física e hidrodinámica del barco. Este último también le otorgaba a los barcos de guerra (y mercantes) ciertas ventajas con respecto a aquellos sin aforro metálico, en particular mayor velocidad y maniobrabilidad. En el período que nos ocupa se asistió a la introducción y rápida extensión del forro de cobre en los barcos de las armadas. Durante este tiempo se produjeron además importantes cambios técnicos, que estuvieron relacionados fundamentalmente con las aleaciones y los métodos de producción empleados, e incluyeron numerosas patentes. En este caso en particular, los efectos perjudiciales que tenían las chapas de cobre sobre los elementos de hierro del casco, exigieron la búsqueda de varias soluciones prácticas. La cuestión del deterioro corrosivo del aforro suscitó además una serie de estudios científicos sobre los procesos electroquímicos que afectan a los diferentes metales en el medio marítimo. Estos sentaron precedente sobre los

fundamentos de la protección catódica y permitieron implementar mejores medidas para amortiguar las consecuencias nocivas. Además, tanto los elementos de sujeción como el revestimiento recibían periódicas reparaciones. Los artefactos que componen ambos cuerpos de evidencia suelen encontrarse (muchas veces de forma aislada) en sitios arqueológicos, incluso en aquellos barcos en los que el casco ha sufrido un extenso deterioro. Debido a la información que pueden brindar y la extensión que han cobrado, merecen atención especial los estudios realizados sobre restos recuperados de naufragios de diversa procedencia que incluyen la aplicación de métodos y técnicas de análisis específicos.¹

En la primera parte del capítulo hablaremos sobre los elementos de sujeción. Comenzaremos por exponer una serie de consideraciones básicas sobre las partes estructurales y sectores de un casco de madera (barco en rosca). Seguido de ello, presentaremos algunas generalidades sobre los elementos de sujeción estructurales: la nomenclatura contemporánea, la descripción de los aspectos morfológicos y dimensionales básicos, junto con la pernería y clavazón empleada. Luego veremos algunas cuestiones relativas a los materiales utilizados para la fabricación de estos elementos (i.e. hierro, cobre y aleación de cobre). En relación con lo anterior, versaremos sobre los métodos más usuales de producción (manuales y parcialmente mecanizados). Tendremos especial consideración por el conocimiento empírico acerca de las propiedades de los materiales disponibles y las principales innovaciones ocurridas durante el período de interés.

La segunda parte estará consagrada al uso de las planchas de cobre y de aleación de cobre para revestir los cascos de madera. Primeramente, haremos una breve reseña del empleo de este sistema de protección de los fondos, debido al biodeterioro ocasionado por la acción de moluscos y crustáceos perforantes de madera, así como por organismos incrustantes; incluiremos aquí un recuento histórico del uso de planchas de metal. Luego, nos extenderemos en el proceso que llevó a la introducción del aforro de cobre en las armadas europeas. Versaremos

¹ Los materiales procedentes de algunos sitios suelen presentar una serie de dificultades, que es necesario resolver antes de ser analizados. Las características de cada situación impondrán determinadas limitaciones a los estudios. Al respecto, McCarthy (2005:136) mencionó algunos de los problemas que enfrentan los arqueólogos en una primera instancia de investigación de los elementos de sujeción: el grado de asociación entre los restos y un determinado naufragio; la identificación de las piezas que no se encuentran en su posición original; la diferenciación entre aquellas que estaban en uso y las que eran llevadas como repuesto o carga; entre otros aspectos.

sobre su implementación en Gran Bretaña y por parte de las potencias continentales; la continuidad de las técnicas previas; el problema del deterioro ocasionado sobre los pernos y clavos de hierro debajo de la línea de flotación; y las soluciones prácticas adoptadas. A partir de ello, desarrollaremos una serie de cuestiones relativas al revestimiento de los barcos de guerra tales como los insumos necesarios para forrar una nave a fines del siglo XVIII; las especificaciones sobre el tamaño, la forma y peso de las planchas; y la colocación de las chapas y los patrones de clavado. Al igual que en caso de los elementos de sujeción, nos enfocaremos en la producción de chapas y tachuelas; en particular, en la fabricación de ingentes cantidades de piezas, la relevancia de las técnicas artesanales y la introducción de nuevas aleaciones.

ELEMENTOS DE SUJECIÓN

Partes estructurales y sectores de un casco de madera

Antes de adentrarnos en la cuestión de los elementos de sujeción, es necesario describir brevemente cuáles eran las principales partes constitutivas de un casco de madera y cada uno de los sectores que comprendía. El casco (*hull, coque*) era el cuerpo de un buque en rosca, i.e. recién construido, sin considerar su arboladura (mástiles), jarcias (cabos y aparejos empleados para sostener los palos y maniobrar las velas) o de cualquier otro efecto (Fig. 6.1).² De allí que no nos ocuparemos de los elementos de sujeción empleados en el revestimiento del forro (más abajo, en este capítulo) o en la artillería (que trataremos en el capítulo 8). En la práctica, sin embargo, veremos que tal discriminación no siempre es tan sencilla de realizar a partir de los restos de un naufragio.

² También se denominaba casco a cualquier pedazo de un barco luego de su naufragio (O'Scanlan 1831:151). En la actualidad, estos restos reciben el nombre de pecio.



FIGURA 6.1 – NAVÍO DE 120 CAÑONES *HMS CALEDONIA* (1808 – 1875).

Modelo a escala (1:48) del casco del barco, realizado hacia 1808. Este barco de primer rango —que había sido ordenado como nave de 100 cañones, en 1794— fue botado en el astillero de Plymouth (costa sur de Devonshire, Inglaterra) a mediados del año 1808. Fue renombrado *Dreadnought* en 1857, y sirvió como barco hospital en Greenwich hasta su desguace, en 1875. Dimensiones del modelo: 40,4 x 153,4 x 35 cm.

Fuente: National Maritime Museum, Greenwich, Londres. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

A continuación describimos brevemente, sin ánimos de exhaustividad, las principales partes estructurales que conformaban el casco de un barco de madera (véase Murray 1754; Duhamel du Monceau 1764; Gautier 1769; O'Scanlan 1831; Bataille y Brunet 1937; entre otros, para mayor información sobre estos y otros componentes):

- Quilla (*keel*; *quille*): gran viga recta —formada por uno o varios maderos fuertemente empalmados—, situada en el fondo, sobre la que se sentaban las varengas y demás ligazones de las cuadernas de forma perpendicular a su longitud. Era la base del resto de la estructura (lo que es el espinazo a las costillas).
- Sobrequilla (*kelson*; *contre-quille* o *carlingue*): consistía en una gran pieza de madera que se ubicaba sobre las bragadas de las varengas, y que unía a

estas con la quilla (también denominada por algunos como contraquilla superior).

- Zapata (*false keel; fausse quille*): algunos denominaban así al tablón formado por varias piezas que se colocaba en la cara inferior de la quilla, para protegerla (falsa quilla o contraquilla inferior).
- Cuaderna (*frame; couple*): cada una de las piezas formada por un conjunto de maderos curvos cuya base o centro encajaba sobre la quilla, y que se prolongaban a ambos lados (en su conjunto constituían las costillas del casco). Cada cuaderna estaba formada por las siguientes partes: varenga³; genoles; primeras, segundas, etc. ligazones; y reverses o barraganetes. La varenga (*floor timber; varengue*) correspondía a la primera pieza que se colocaba sobre la quilla, en sentido perpendicular a su eje, para formar la cuaderna. Su ángulo variaba según el lugar que ocupaba, y así mismo lo hacía su nombre (e.g. las que formaban el plan de barco se llamaban varengas planas; y las que empezaban a cerrar el ángulo de sus ramas hacia proa y popa de las primeras, varengas levantadas).
- Bulárcama o sobreplán (*floor, rider; porque*): ligazón de madera, gruesa y ancha, colocada sobre el forro de la bodega, empernada por encima de la sobrequilla y las cuadernas, cuyas ramas llegaban hasta los durmientes (también se la llamaba varenga de sobre plan, o simplemente sobreplan).
- Roda (*stem; brion*): madero curvo que iba encastrado en el extremo proel de la quilla (con el pie de roda) y desde allí se extendía verticalmente, con cierta inclinación hacia adelante (lanzamiento). Las dos piezas anteriores, junto con el caperol (madero del extremo superior de la roda), formaban el branque. Contraroda o contrabranque (*apron; contre-etrave*): reunión de piezas que se unían por la parte interior del branque (pie de roda, roda y caperol), para darle mayor refuerzo.

³ Estas piezas tenían diferentes formas, según la sección del barco en la que se ubicaban. Las del centro, que eran llanas, se denominaban planes (la más llana correspondía a la de la cuaderna maestra), y se iban levantando hacia proa y popa. Las medio levantadas se empleaban más en proa, mientras que las levantadas del todo (denominadas piques u horquillas, las cuales formaban un ángulo agudo que se aproximaba a la figura de la letra Y) se utilizaban más en popa (O'Scanlan 1829:111,112).

- Tajamar (*cutwater; esperon* o *taillemer*): tablón grueso o madero compuesto que se colocaba en la cara exterior (de proa) de la roda, y servía para hender el agua durante la navegación. Allí remataban las perchas (brazales) y, en su extremo superior, se colocaba el mascarón (o figurón).
- Codaste (*stern-post; etambot* o *etambord*): madero recto y vertical que sentaba mediante encastre en el otro extremo de la quilla, formando con esta un ángulo más o menos obtuso. Allí se fijaban las hembras del timón, sobre las que este pivotaba. La unión entre el codaste (o contracodaste), por su parte interna, y la sobrequilla estaba reforzada por la curva coral. Contracodaste (*inner post; contre-étambot*): pieza que solía agregarse al codaste por su parte interior, como refuerzo. A esta última iba unida la rama (brazo más delgado) de la curva coral.
- Dormido (*dead wood; massifs*): conjunto de maderos colocados entre la quilla y la sobrequilla, en los extremos popel y proel del barco, contra la cara interior del codaste (o contracodaste) y de la roda (o contraroda), respectivamente. Se denominaba, en uno y otro caso, dormido de popa y de proa.
- Bao (*beam; bau*): cada uno de los maderos horizontales que corrían de forma transversal al eje de la quilla y que servían para mantener la debida separación entre las cuadernas de uno y otro costado, por donde se hacían firmes sus extremos. El conjunto de baos sostenía el peso de las cubiertas, con su artillería y demás efectos. Por tal motivo, cada uno estaba reforzado verticalmente por puntales. Además, se intercalaban entre ellos, de costado a costado, tirantes de menor sección (baos barrote o latas).
- Durmiente (*clam; bouquiere*): tirante fijo a las cuadernas, que corría de popa y proa por la parte interior del costado, manteniendo la correcta distancia entre cuadernas consecutivas, sobre el que apoyaban las cabezas de los baos. La viga que corría en paralelo a los durmientes, sobre la cubierta, contribuía a la ligazón longitudinal de la estructura, se denominaba trancañil (*waterway; goutière*).
- Curva (*knee; courbe*): pieza curva de madera que servía para ligar o unir dos maderos en ángulo (recto, agudo u oblicuo). Cada uno de sus lados se

llamaba brazo, rama o pernada, mientras que la parte de donde arrancaba, bragada. Las curvas podían estar posicionadas de forma horizontal o vertical (de peralto). Aquellas que se empleaban para asegurar el conjunto formado por un bao, durmiente y cuaderna, se denominaban curvas de bao (en general, tomaban el título de aquel madero notable al que se aplicaban).⁴

- Yugo (*transom; barre d'arcasse*): cada uno de los maderos de diferentes dimensiones que cruzaban el codaste y endentaban en este para así formar la popa del barco.
- Forro (*planking; bordé o revêtement*): conjunto de tablonces que cubría el esqueleto del barco, sobre las caras interna y externa de las cuadernas o miembros, i.e. forro interior y exterior.⁵ A varias alturas había algunas tablas más gruesas que las del resto del forro (llamadas cintas), que tenían como fin fortificar el costado. La principal coincidía con la línea del fuerte; era la que pasaba por el punto de mayor anchura de las cuadernas. También se denominaba forro a las planchas de metal o madera con que se revestía el fondo (véase más adelante).
- Cubierta (*deck; couverte o pont*): superficie formada por la tablazón colocada sobre los baos, que unía los costados del barco. Era la plataforma

⁴ Durante el siglo XVIII y principios del XIX, las curvas de bao empleadas en los barcos de guerra eran en su mayoría de madera. No obstante, desde mediados del siglo XVIII también se emplearon piezas de metal, en escuadra o con cierto ángulo, en reemplazo de las curvas de madera o como de refuerzo de estas últimas. En la obra francesa *Éléments de l'architecture navale*, publicada en 1752, Duhamel du Monceau hizo mención de la utilidad de las curvas de hierro, debido a la escasez de las de madera. En el tratado también encontramos una ilustración de este tipo de piezas (Duhamel du Monceau 1758:30, lámina 2). El navío de 74 cañones francés *Invincible* (luego apresado por los británicos) fue construido en 1747 y tenía, entre otras innovaciones, curvas de metal (véase Bingeman 1998). En el trabajo de Murray, que contiene un apéndice con la traducción de la obra anterior, también se ilustran unas curvas similares (Murray 1754: Lámina pos-p. 116). Stammers (2001) presentó una tipología sobre las diferentes curvas de metal empleadas en barcos de madera durante el siglo XIX.

⁵ Los tablonces se colocaban canto con canto y frente con frente (a tope) y se clavaban en sus cabezas a las cuadernas. Durante el proceso, se cuidaba que los extremos de los tablonces de una hilada (traca) no coincidieran con los de las hiladas inmediatas, inferior y superior. Los tablonces del exterior corren desde la popa hasta la proa (allí rematan en el alefrez del codaste y la roda, respectivamente) y comienzan a colocarse a partir del tablón que se afirma al alefrez de la quilla. Desde allí cubren el costado hasta la borda de la obra muerta. El espacio que quedaba entre los maderos, llamado costura, se rellenaba con estopa a fuerza de mazo. Esta operación, realizada a fin de lograr estanqueidad del casco, se denominaba calafateo.

sobre la que se ubicaba la artillería y se alojaba la tripulación y guarnición (las que tenían batería debajo de otra cubierta solían denominarse puente). Eran levemente curvas en sentido transversal, a fin de que el agua pudiera escurrir hacia los costados del barco. Tomaban el título según el lugar al que pertenecían (e.g. cubierta alta, baja; primera o principal, segunda, tercera, etc.; del sollado, del entrepuente, del combés, del alcázar, del castillo, de la toldilla, etc.).

Por otro lado, el cuerpo de un barco se dividía en los siguientes sectores principales. En su elevación y longitud, comprendía dos partes, i.e. la sumergida y la boyante, que recibían el nombre de obra viva (o carena) y obra muerta, respectivamente. Ambas estaban separadas por la línea de agua o de flotación. Esta línea marcaba el límite, en términos teóricos, hasta donde debía sumergirse el barco de modo que pudiera navegar con toda la seguridad y presteza que su forma le facilitaba (O'Scanlan 1829:73,77). Más adelante veremos que, a partir de la introducción del revestimiento de cobre, las condiciones a las que estaba expuesta la obra viva tuvieron implicaciones sobre los pernos y clavos empleados en el casco.

A continuación, pasaremos a analizar los principales elementos de sujeción metálicos utilizados en los barcos de madera de la época de interés para este estudio.

Generalidades sobre los pernos y clavos

Nomenclatura de la época

En el capítulo anterior llamamos la atención sobre la problemática en torno al modo de llamar a los elementos de sujeción (*fastenings; fixations*) recuperados de sitios arqueológicos, en especial si estos se encuentran aislados, desvinculados de las partes de madera a las que estaban asociados originalmente (véase McCarthy 1996). En estos casos, por lo general se ha optado por describir las piezas según la forma de sus partes, sus dimensiones, el material con el que fueron

confeccionadas, etc. En ocasiones, los restos hallados también han permitido especificar el uso que le fue dado a las piezas, y así fue posible llamarlas por su nombre. Por supuesto, el problema de la denominación de estos elementos no termina allí. En la época que nos ocupa, las clasificaciones establecidas no seguían un único criterio (e.g. la función o la forma de un perno) y las voces empleadas para hacer referencia a una misma pieza podían diferir de un lugar a otro. Existían discrepancias de un astillero a otro, incluso dentro de un mismo país.⁶

Los diccionarios náuticos nos ofrecen una clasificación general de este tipo de piezas, que en algunos casos incluyen algunas descripciones sobre las diferentes formas y tamaños, aspectos que estaban estrechamente ligados a su pretendida función; muchas veces, esta también definía el nombre que se le daba a cada uno de los elementos. McCarthy (1996, 2005) realizó un análisis detallado sobre las denominaciones de los elementos de sujeción más comunes, adonde se puede encontrar información de interés. La obra de este autor continúa siendo el estudio más exhaustivo sobre elementos de sujeción de barcos. Parte de lo expuesto a continuación está basado en ella.

Aspectos morfológicos básicos y funcionalidad

En términos genéricos, los pernos (*bolts; boulons*) y clavos (*nails; clous*) estaban conformados por una cabeza, un astil o asta y una punta (Fig. 6.2). Estos elementos presentaban variaciones en cuanto a la forma de cada parte, que en cierto grado dependían de las características de los maderos que debían unir. Por otro lado, aquellos destinados a otros usos contaban con formas específicas (e.g. pernos con cáncamo).

⁶ A nivel analítico, el sistema de clasificación debe ser consistente y dar cuenta de las diferencias morfológicas y funcionales. Al respecto, Zori dio cuenta de los problemas interpretativos que pueden generarse a partir del uso de una clasificación inconsistente, que contenga términos equívocos (véase Zori 2007).

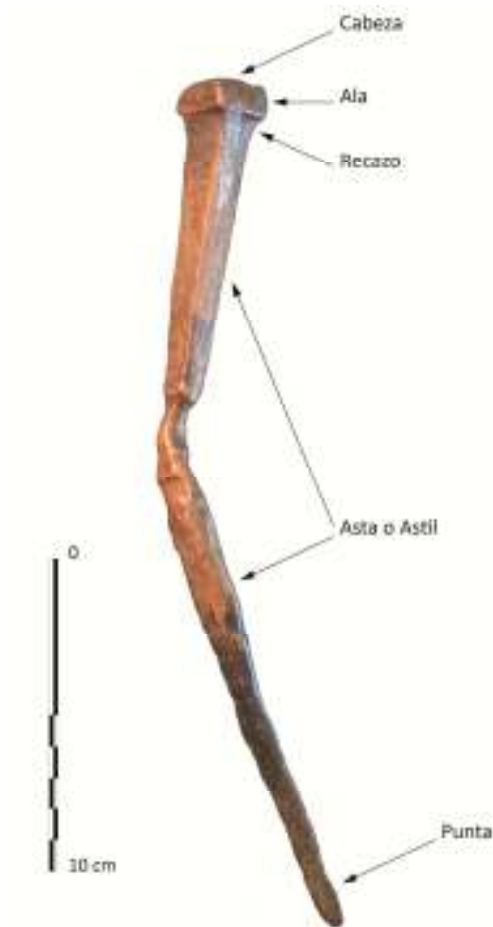


FIGURA 6.2 – NOMBRES DE LAS PARTE DE UN CLAVO.

Clavo recuperado del navío francés *Fougueux* (1805). En función de su morfología y tamaño, es probable que haya sido empleado para la sujeción de las tablas del forro a las cuadernas.

Foto: N. Ciarlo 2014. Cortesía del CAS-IAPH.

Los pernos eran elementos de sujeción relativamente largos y de sección circular, aunque también había pernos de sección cuadrangular y octogonal.⁷ La cabeza y la punta de las piezas tenían una morfología variable, según el caso, aunque en su mayor parte eran redondeadas. Podían ser pasantes o no pasantes,

⁷ Es probable que algunos de los pernos con astil de sección cuadrangular mencionados en algunas referencias españolas correspondan a clavos de tamaño considerable, que en el ámbito anglosajón se conocen genéricamente como *spikes* (véase la Fig. 6.2).

según atravesaran por completo o no los maderos que unían. Estos últimos podían contar con la punta dentada (*ragged bolts*), para una mejor sujeción.

Con respecto a los pernos, en el *Diccionario marítimo español* se lee:

“Vara ó gran clavo redondo ó cuadrado, largo y grueso, con cabeza semi-esférica achatada, ó enteramente semi-esférica, que sirve para unir y asegurar las diferentes piezas de un buque. Los hay de hierro, de cobre y de bronce [debe ser latón]; y según su hechura y dimensiones, y el uso particular á que respectivamente se destina cada uno, así adquiere un título particular que califica su clase; como perno *de encoramento, de ojo, de argolla, de chabeta, de cancamo, de remache ó embudillo, de atraca, de reviro, de atraviesa, arponado, rabiseco ó rabisaco, capuchino, sin cabeza, cuadrado ó de cuadrejon, de estribo, de moton, rebatido ó remachado* &c. El *de atraviesa* se dice también *trabante y bolon*; y los que en las cabezas de las bitas y del timon sirven de sujecion á los cables y á la caña, son los llamados cada uno con nombre peculiar *paja (...)* // *Perno maestro*: el mas largo de los que aseguran el tajamar” (O’Scanlan 1831:414; la cursiva es original).

Entre los pernos más comunes se encontraban los de empalme o encoramento, aquellos que se utilizaban para unir dos o más piezas, ya sea que estas se encontraran de lado o adaptadas la una a la otra por medio de un empalme (por lo general cada pieza tenía un empalme específico). Entre las primeras se encontraban las varias ligazones que conformaban los miembros o cuadernas del barco; entre las segundas, las piezas de la quilla, la sobrequilla, los dormidos, los durmientes, las cintas, etc. (O’Scanlan 1829:80,81).

La descripción realizada por Blackburn en su obra *A Treatise on the Science of Ship-Building* (1817) nos ofrece el panorama general de las piezas utilizadas por las principales potencias marítimas europeas a fines del siglo XVIII y principios del XIX. Los pernos debían atravesar de un lado a otro los maderos que unían y se aseguraban, según las circunstancias y el lugar del barco adonde se utilizaban, mediante algunas de las siguientes formas: remache (*clinch* o *clench bolts*), chaveta (*forelock bolts*) y tuerca, en el caso de los pernos roscados (*screw bolts*). En el extremo de los pernos debía colocarse siempre una arandela (circular o cuadrada). Al parecer, los franceses solían valerse de pernos roscados, mientras que los españoles utilizaban pernos puntiagudos (*spike-pointed bolts*) y reviraban el

extremo sobre la madera (Blackburn 1817:179,180). Blackburn sostuvo que cada tipo de sistema tenía sus ventajas: en los lugares donde el trabajo (esfuerzo) tendía a extraer el perno, el cierre con chaveta era el más seguro de todos. Los pernos remachados funcionaban muy bien en los sectores inferiores del barco, donde la madera no era propensa a sufrir encogimiento. Cosa distinta ocurría por sobre la línea de flotación; a fin de mantener la partes bien unidas, allí convenía emplear pernos con rosca y tuerca (Blackburn 1817:180).⁸

El sistema de cierre de los pernos presenta distintas modalidades, que en el contexto de la construcción naval europea guardan entre sí cierta relación temporal. Los más tempranos fueron los pernos ajustados mediante chaveta, sobre una arandela plana de forma cuadrangular. Estos fueron sucedidos por aquellos ajustados sobre una argolla. Estas variantes se aplicaron usualmente en pernos de hierro. El ajuste de la punta de los pernos por remache directo sobre una arandela corresponde a un modo ulterior. Como en el caso previo, el empleo de argollas suele ser más tardío. Esta última modalidad fue utilizada especialmente en los pernos de cobre o de aleación de este metal. McCarthy destacó que, si bien los pernos con chaveta continuaron empleándose en casos puntuales (e.g. en aquellas piezas que requerían un ajuste especial o que debían ser fácilmente removibles para poder realizar reparaciones), a la larga predominaron los pernos remachados (McCarthy 2005:70,71). En los anexos de los sitios *Fougueux* (1805) y *Deltebre I* (1813) ilustramos el sistema de cierre de los pernos de cobre usados en la estructura de los cascos (véanse las Figs. A.8.2 y A.10.4, respectivamente).

El orificio por donde pasaban los pernos se realizaba con anterioridad a su colocación. La operación era llevada a cabo manualmente, utilizando una barrena especial (el diámetro era ligeramente menor al del perno). Una vez hecho el orificio e introducido el perno, la punta sobresaliente era recortada hasta dejar un segmento de alrededor de la mitad del diámetro por encima de la arandela. Luego,

⁸ El uso de pernos roscados por parte de los ingleses durante la segunda mitad del siglo XVIII está atestiguado por la evidencia material recuperada del navío *HMS Royal George*, naufragado en 1782. En el NMM se conservan algunas piezas que habrían pertenecido a este barco, entre ellas dos pernos roscados de hierro: objetos REL0353 (82 mm de largo y 32 mm de diámetro) y REL0337; este último está acompañado de una tuerca (132 mm de largo y 32 x 37 mm de sección). El objeto REL0337 figura como procedente del South Kensington Museum (desde 1899 renombrado como Victoria and Albert Museum).

mediante un martillo se remachaba este extremo. De requerirse una sujeción más sólida, podía agregarse una arandela debajo de la cabeza (McCarthy 2005:70,71).

Los clavos, por otro lado, tenían un asta de sección cuadrangular (por lo general con dos lados paralelos y dos convergentes) y su punta terminaba en bisel. Los estoperoles y tachuelas eran clavos cortos, que se caracterizaban por tener una cabeza chata, grande y redonda, y un astil conforme o de forma piramidal.

La lámina No.51 del *Diccionario demostrativo de la configuración y anatomía de toda arquitectura naval moderna o Álbum de Construcción Naval*, como generalmente se conoce la obra escrita por el Marqués de la Victoria, nos brinda un panorama exhaustivo de los clavos de hierro utilizados para la construcción del casco de un barco durante la primera mitad del siglo XVIII. Esta lámina abarca todo género de clavos, incluyendo la clavazón empleada en los afustes de la artillería, los barriles y toneles, y para forrar los fondos de los navíos. Allí encontramos además el nombre de cada una de las partes de un clavo (Fig. 6.3). En el *Diccionario marítimo* de O'Scanlan también se menciona una variedad de elementos: clavos arponados, de barrote, de cinta y de media cinta, de costado y de medio costado, de ligar o de coser, de encoramento, de reatar, de tinglar, de entablar, de escora, de eslora mayor, trabaderos, etc. (O'Scanlan 1831:160).

En el caso de Francia, el tomo primero de la *Encyclopédie Méthodique, Marine* brinda asimismo un panorama general de las dimensiones y cantidad de clavos necesarios para construir barcos de guerra de diferente porte (Vial Du Clairbois 1783: CLOUS).

La forma de los clavos respondía a la función para la que habían sido concebidos. A diferencia de los pernos, la fuerza de retención estaba relacionada con las vetas de la madera que abrían y solicitaban al ser clavados. Los clavos sometidos a mayor trabajo tenían barbas cerca de la punta (Fig. 6.4). La punta con forma de pico de espátula de algunos clavos, tales como los hallados en el sitio Deltebre I (1813) habría cumplido semejante propósito (véase el anexo 10). Los clavos quedaban con la cabeza al ras de la superficie de los maderos, e incluso en bajorrelieve.

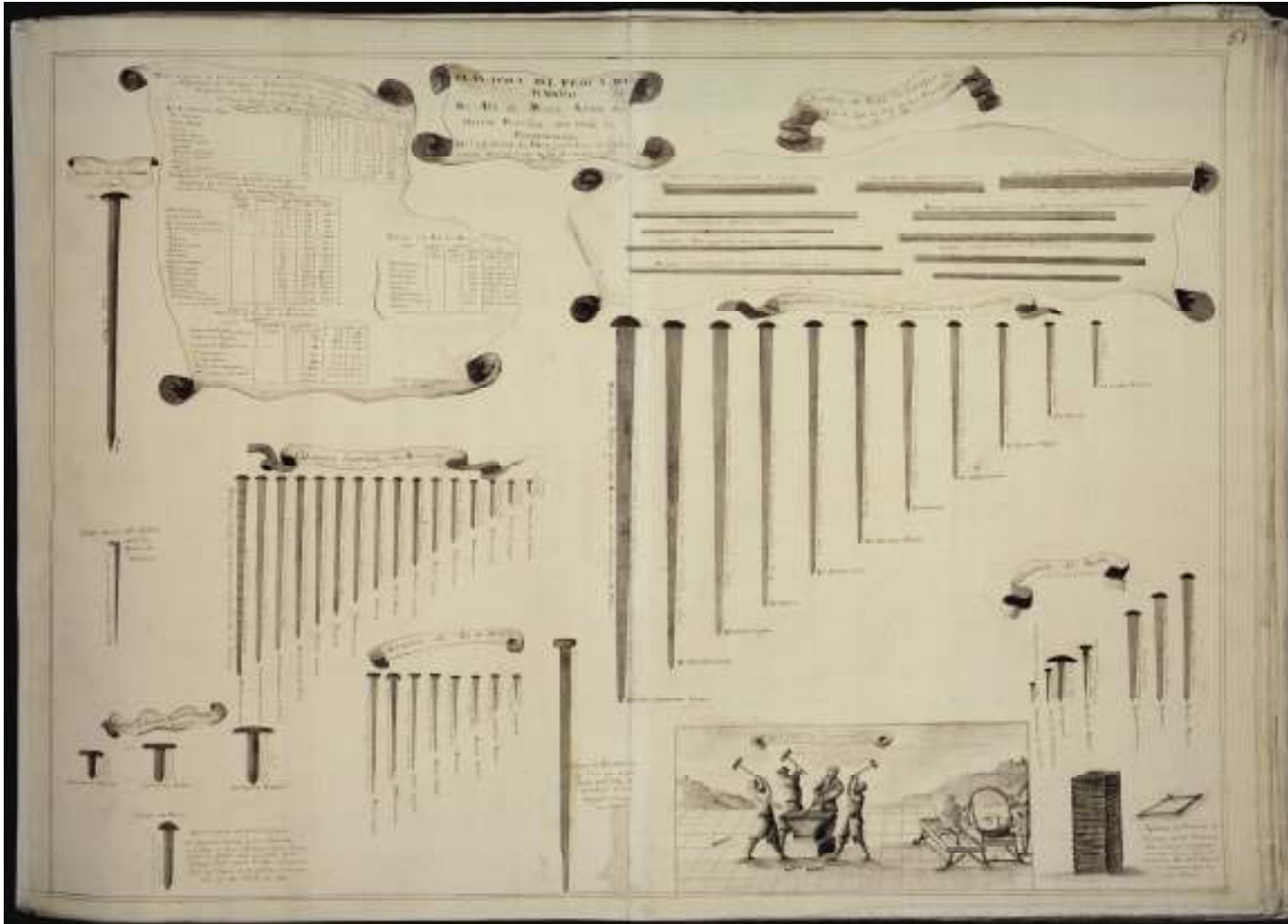


FIGURA 6.3 – CLAVAZÓN DE PESO Y DE NÚMERO.

Título original: "Clavazón de Peso y de Número. De Ala de Mosca; Reata, de Herrar Barriles; con toda la Denominación de la Calidad de Fierro y nombres de la Clavazon, que se situen en los Arsenales del Rey N° Señor". Lámina No. 51 del *Álbum de Construcción Naval* del Marqués de la Victoria, publicado en el año 1756.



FIGURA 6.4 – CLAVO ESTRUCTURAL DENTADO.

Uno de los clavos de cobre recuperados del sitio donde yacen los restos del navío francés *Bucentaure* (1805). Nótese el detalle de las hendiduras realizadas en las aristas del astil, cerca de la punta.

Foto: N. Ciarlo 2013. Reproducción autorizada, cortesía del CAS-IAPH.

La pernería y clavazón de los barcos era acorde a las dimensiones de los maderos estructurales. En consecuencia, había una variedad de tamaños para cada elemento de sujeción; a excepción, tal vez, de las tachuelas de aforro metálico. Estas diferencias se presentaban dentro de un mismo barco y, sobre todo, entre barcos de diferente porte. En la figura 6.5 podemos apreciar un grupo de pernos de metal (probablemente de cobre) no pasantes, de morfología similar y en tres tamaños, utilizados para empernar una serie de fragatas británicas de principios del siglo XIX. Antes vimos que los clavos también tenían varios largos, según cada tipo (véase la Fig. 6.3).

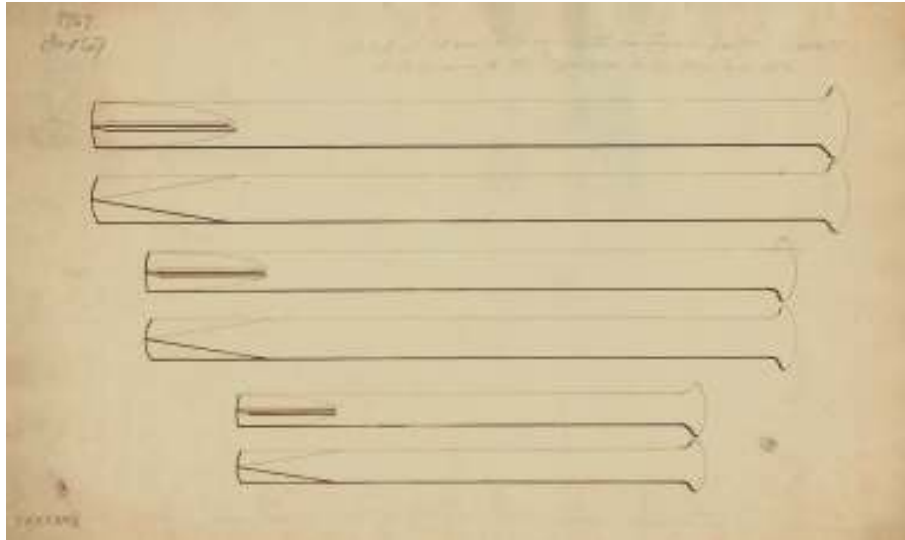


FIGURA 6.5 – PERNOS DE METAL.

Perfiles de tres pernos de metal (de semejante morfología y diferente tamaño) destinados a empujar las fragatas construidas con casco de abeto (*fir-built frigates*) en 1812 y 1813. Los contratistas recibieron una copia del plano en diciembre de 1812. La lámina no tiene escala.

Fuente: National Maritime Museum, Greenwich, Londres. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Importancia de los elementos de sujeción estructurales

La pernería y clavazón servía para ligar entre sí —coser, sujetar, empujar, etc., según las voces empleadas en la época— dos o más de las piezas que componían un barco. Los pernos (*bolts; boulons* o *chevilles*) se utilizaban para sujetar las partes estructurales de mayor porte (e.g. quilla, sobrequilla, roda, tajamar, etc.), por lo general sirviendo de ligazón a tres o más maderos. Los clavos (*nails; clous*), en cambio, se utilizaban para ligar dos maderos de menor grosor (e.g. tablas del forro, tablas de cubierta, etc.); atravesaban el primero y penetraban parte importante del segundo, en el que quedaban embutidos.

En las figuras 6.6 y 6.7 ilustramos cómo iban empujadas las partes de madera a las que hemos hecho referencia más arriba. Estos casos son meramente orientativos y en modo alguno agotan la diversidad de modalidades que había en

aquel tiempo en cuanto al uso de pernos y clavos.⁹ A grandes rasgos, diremos, los pernos servían para unir los siguientes maderos (la lista de combinaciones no es exhaustiva):¹⁰

- Quilla – varengas – sobrequilla.
- Quilla – dormidos – sobrequilla (y curva coral).
- Codaste – contracodaste (y curva coral).
- Pie de roda – gorguera – roda – contrarroda.
- Tajamar – roda – contrarroda (y curva de proa).
- Bulárcamas – forro interno – cuadernas – forro externo.
- Baos – curvas de alto abajo o peralto – costado.
- Otros elementos estructurales tales como las carlingas, los durmientes, los trancañiles, etc.
- Empalmes de piezas tales como la quilla y las ligazones de las cuadernas (i.e. varengas, genoles, 1a., 2a., etc. ligazón, y reverses).
- Piezas metálicas tales como las curvas de bao y los goznes del timón.

En cuanto a los clavos, usualmente se empleaban para ligar las siguientes piezas del casco:

- Forro externo – cuadernas (también se usaban pernos como complemento).
- Forro interno – cuadernas (ídem anterior).
- Tablas de cubierta – baos.
- Falsa quilla (o zapata) – quilla.¹¹

⁹ La variabilidad puede apreciarse, especialmente, si comparamos la tradición constructiva ibero-atlántica y la del norte de Europa (véase McCarthy 2005:79-81).

¹⁰ El largo de los pernos de empalme era proporcional al grueso de los maderos que debían empernar, mientras que su diámetro estaba en relación al escantillón o escuadreo (ancho, grueso y largo determinados) de los miembros del barco (O'Scanlan 1829:80).

¹¹ La zapata estaba compuesta por varios tablones que se endentaban unos con otros (por sus frentes) por medio de una espiga. Para asegurarla a la quilla, por sus costados, se empleaban cívicas o crampones (grapas) arponados (O'Scanlan 1829:142).

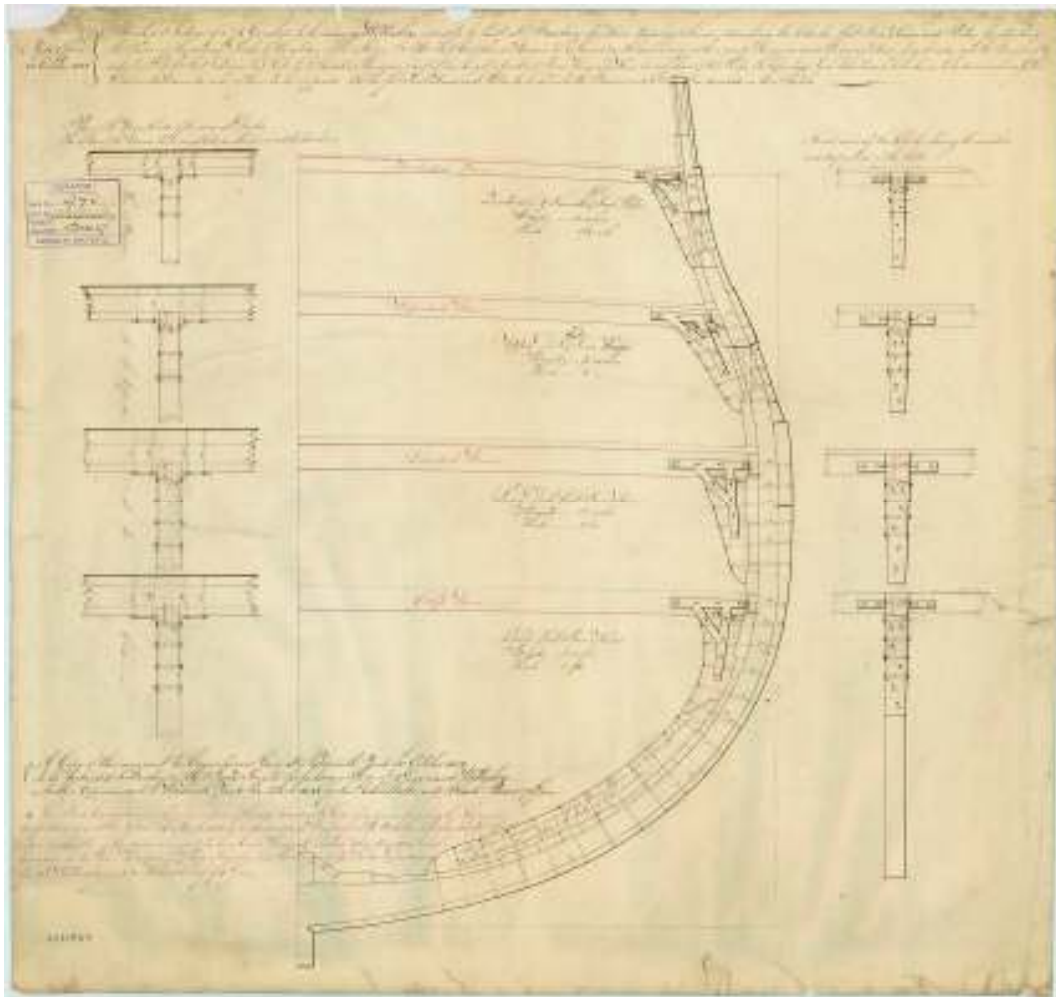
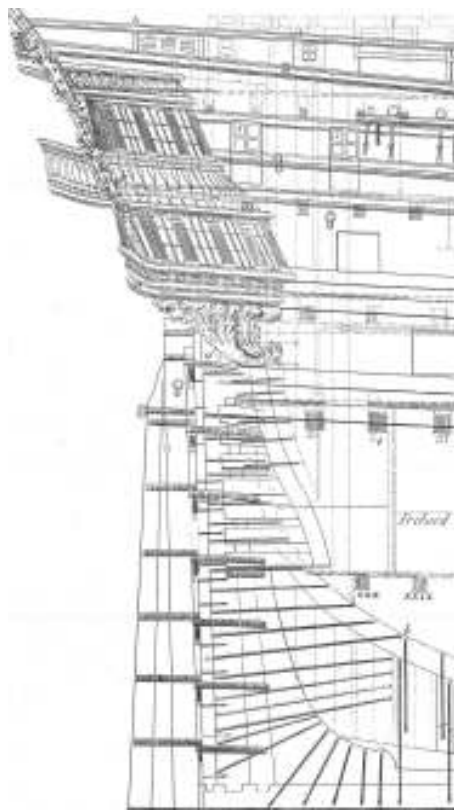


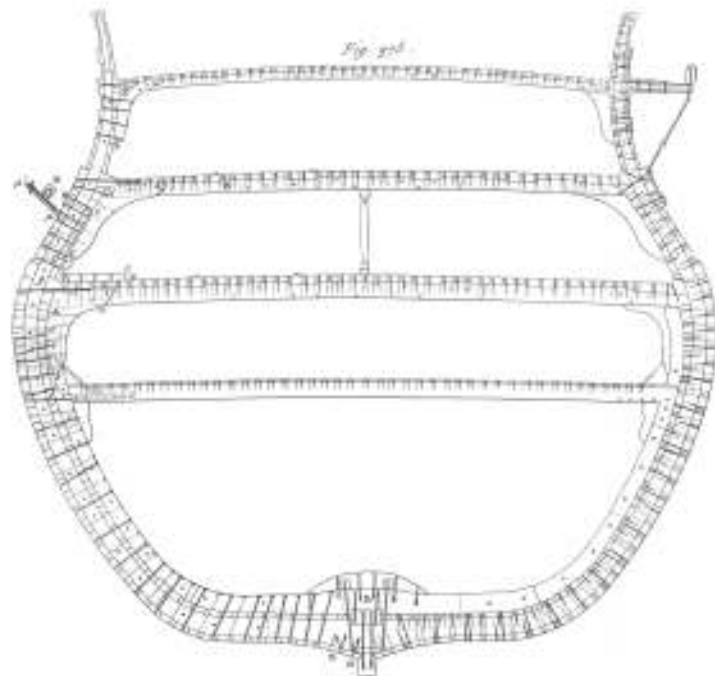
FIGURA 6.6— GÁLIBO DE NAVÍOS BRITÁNICOS DE 74 CAÑONES.

Plano de la sección maestra (*midship section*) para navíos de 74 cañones, en los que se ilustran los calzos, las curvas de hierro (*flat iron knees*) y los pernos empleados para fijar los baos de las cubiertas al costado. En esta vista se aprecia cómo los pernos atraviesan el forro, la cuaderna y los calzos de madera. Además, se detalla cómo están unidas las curvas de hierro a los baos y al costado (izq.) y a las curvas de madera (der.). El plano, realizado en marzo de 1810, fue utilizado para construir los siguientes barcos: *Conquestadore* (1810), *Scarborough* (1812), *Stirling Castle* (1811), *Clarence* (1812), *Niger* (1813), *Rippon* (1812), *Vengeur* (1810), *Aisa* (1811), *Gloucester* (1812) y *Vindictive* (1813). Dimensiones de la lámina (ZAZ1310): 111,2 x 54 cm.

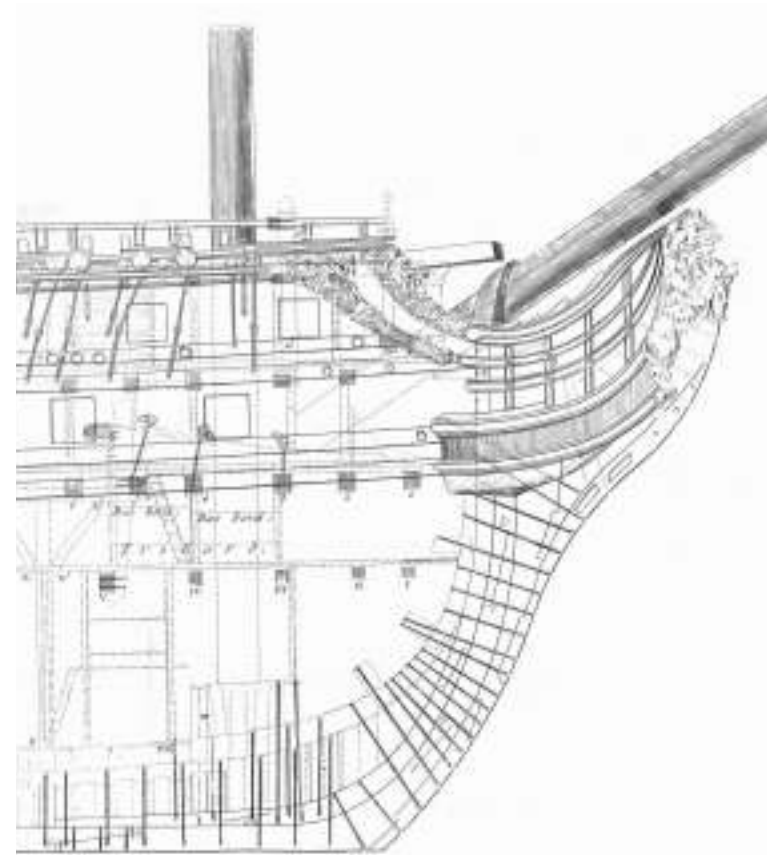
Fuente: National Maritime Museum, Greenwich, Londres. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.



(a)



(b)



(c)

FIGURA 6.7 – PLANO DE UN NAVÍO FRANCÉS.

Patrones de clavado de diferentes sectores de un navío francés de la segunda mitad del siglo XVIII: (a) popa; (b) sección maestra (vista perpendicular); y (c) proa. Nótese el largo de los pernos empleados para unir los maderos de la popa.

Fuente: Vial Du Clairbois (1787), *Encyclopédie Méthodique, Marine*, láminas 115 y 116 (selección).

Por el momento nos limitaremos a mencionar que las tachuelas y estoperoles se empleaban para sujetar chapas y demás piezas que necesitaban relativamente poco esfuerzo para mantenerse en su sitio (O'Scanlan 1831:266). Reservamos un espacio para ello en la segunda sección del capítulo, dedicada a las planchas utilizadas para el aforro de los barcos.

En cuanto a la pernería y clavazón necesarias para construir un barco de guerra, a continuación exponemos las cantidades que requería un navío español de 80 cañones (el peso está expresado en libras). En las tablas adonde se consignaba esta información también solían indicarse los valores correspondientes al revestimiento del forro. i.e planchas y tachuelas. Los datos indicados nos ofrecen una idea aproximada de la extensión que tuvo este rubro de la industria metalúrgica.

Pernos y clavos	Número	Peso
Clavazón de 6 a 20 pulgadas	26.080	32.533
Clavazón para tablazón de forro de 3 a 3 y ½ pulgadas	39.600	2.084
Grapas (arponadas) o cívicas para la falsa quilla o zapata	280	280
Planchas de cobre para el forro	1.680	26.880
Clavazón para dichas planchas de 1 y ½ pulgada	—	3.266
Codos de cabillas de todas menas para pernos y argollas	3.077	29.754
Anillos y chavetas para dichos pernos	1.620	209
Planchuelas para el codaste	2	112
Machos y hembras para el timón	12	3.780
Pernos para los machos y hembras del timón	24	102
Clavos redondos para los machos y hembras del timón	190	259
Tuercas para los machos y hembras del timón	24	17
Total	72.589	99.276

Fuente: O'Scanlan (1829:228).

Una parte no desdeñable del hierro para los barcos españoles de madera de mediados del siglo XVIII estaba destinada a la clavazón. Por caso, cada uno de los navíos construidos por Fernández de Isla demandó las siguientes cantidades de este metal para los diferentes objetos (cifras en toneladas métricas): 410 t de cañones, 368 t de balería y metralla, 14 t de anclas y 181 t de clavos (García Codrón 1999:88). En aquella época, la producción de hierro del País Vasco era de alrededor de 2.500 toneladas al año. La Real Armada española era el principal consumidor de este volumen. Tan sólo en clavazón, se estima que requería hasta unas 1.200 toneladas anualmente (Rodger 2006:379).

Materiales

El hierro y el cobre fueron los dos metales que sirvieron para fabricar los elementos de sujeción empleados en la construcción de barcos de madera del período en estudio. Hasta la introducción del aforro de cobre durante la segunda mitad del siglo XVIII (véase más abajo), los pernos y clavos estructurales estuvieron hechos con hierro forjado (y a partir del último cuarto del 1700, también pudelado). A partir de entonces, el cobre comenzó a ser utilizado en la obra viva de los barcos. Este cambio afectó no sólo a las naves a construir, sino también a aquellas que habían sido previamente empernadas con hierro. Este último material siguió empleándose, pero de modo parcial, puntualmente en la obra muerta y otros sectores del barco que no estaban sujetos al deterioro ocasionado por contacto con el cobre en el medio acuoso.

Los elementos de sujeción requerían atención primordial durante la construcción de un barco, dado que la fortaleza de este último dependía en parte importante de la suficiencia de aquellos (del mismo modo en que dependía de la eficacia de las dimensiones de las demás partes componentes de madera). Asimismo, dada la debilidad estructural que generaban los orificios por los que pasaban pernos y clavos, estos debían estar fabricados en los materiales más fuertes y resistentes, de modo que pudieran tener la menor sección posible (Blackburn 1817:179). El tema de la resistencia de los materiales ocupó un lugar de suma importancia en torno a las discusiones sobre el uso de los pernos de hierro y

de cobre. Las opiniones eran muy variadas y estaban fundamentadas sobre todo en la experiencia.

En las obras de la época sobre cuestiones marítimas encontramos algunas referencias que tienen relación con la dureza y la resistencia a la tracción de los diversos materiales empleados en la construcción naval. Según O'Scanlan, un alambre de fierro (hierro) de una línea de diámetro (i.e. 1,934 mm, si se trata de la medida castellana) tirado por el seno de su largo requería para romperse una tensión de 650 libras, mientras que uno de seis líneas (media pulgada) podía soportar hasta 24.000 libras o 12 toneladas. Este autor especificó también la resistencia de otros materiales, tomando como referencia a la del hierro. El valor del cobre rojo (cobre sin alear) era de dos tercios, mientras que el del cobre amarillo o latón era de cuatro quintos (O'Scanlan 1829:220). La relación entre la resistencia a la tracción del hierro y del cobre sin alear dada por O'Scanlan es próxima a la que se obtiene de la razón entre los valores actuales del acero bajo en carbono y el cobre 99,95 %, no así la mencionada entre el hierro y el cobre amarillo. El valor para el latón actual de referencia (Cu 70 % - Zn 30 %) se ubica, al igual que el del cobre amarillo, entre el hierro y el cobre sin alear; sin embargo, la resistencia a la tracción del latón actual es mayor a la del cobre amarillo (según lo expresado por la relación expuesta en la obra de O'Scanlan).¹² Esta diferencia probablemente se deba al tipo de aleación considerada por O'Scanlan como latón.

El material era seleccionado tanto en función de las prestaciones mecánicas (seguridad) como de la vida útil (de los pernos y de las maderas que unían) y el costo de las piezas. Según Blackburn, los pernos (y clavos) más duraderos en las maderas utilizadas por los ingleses eran los de cobre. Además, tenían otras ventajas importantes:

“En nuestras maderas, los elementos de sujeción [*fastenings*] de cobre son los más duraderos, de la fortaleza más permanente, y

¹² Los valores de resistencia a la tracción del hierro y el cobre indicados por Callister (1996:A-8 y A-9) son los siguientes:

- hierro: 38 ksi (260 MPa).
- acero bajo en carbono (1.020): 57 ksi (395 MPa).
- cobre (99,95%): 44 ksi (303 MPa).
- latón (70% Cu - 30% Zn): 55 ksi (380 MPa).

Referencias: ksi (kilolibra por pulgada cuadrada); MPa (megapascal).

los menos destructivos para las maderas. A fin de cuentas, también son el tipo de clavazón más barato que se puede utilizar en nuestros barcos” (Blackburn 1817:180; la traducción es personal).

Tanto era así que —dijo este autor— los mismos pernos de cobre podían ser utilizados en dos o tres barcos de modo sucesivo. La única desventaja es que a veces eran susceptibles de destrabarse debido a los esfuerzos a los que estaban sometidas las maderas, por lo que era necesario asegurarlos correctamente en las puntas. Más allá de ello, Blackburn consideró que en las cuadernas debían emplearse sólo pernos de cobre. Los pernos de hierro, en cambio, no tenían semejantes ventajas. El principal inconveniente estaba relacionado con los efectos corrosivos que ocasionaban el agua de mar y el ácido de ciertas maderas (e.g. roble) sobre este tipo de piezas, hecho que producía además un deterioro de las partes estructurales. Por ello es que debía evitarse su empleo tanto como fuera posible en la estructura de los barcos. Y, sobre todo, debía tenerse especial cuidado para evitar que el hierro y el cobre entraran en contacto, ya que si la humedad los alcanzaba, la corrosión generada entre ambos metales destruiría la madera (Blackburn 1817:180,181).

Es de interés notar que, ya entrado el siglo XIX, en España aún se hacía referencia al empleo de pernos de hierro —sin mencionar siquiera la opción de los pernos de cobre— para la unión de partes estructurales de la obra viva de los barcos de madera. Algunas de estas partes, incluso, estaban destinadas a otorgarle mayor solidez al casco. Es el caso de las bulárcamas o sobreplanes, para las que se utilizaban pernos largos que atravesaban el casco desde el interior hasta el exterior:

“En la colocación de estas cuadernas se cuida, cuando se entabla el buque por fuera, y en esta parte, de embutir de distancia en distancia *pernos de fierro*, que ligen y sujeten las bulárcamas al casco del buque. Estos pernos deberán tener el largo del grueso del tablón de la cuaderna exterior de las vagras, y de la bularcama, sobre la cual se rebaten con anillo, y tendrán su grueso igual al de los pernos de empalme. La varenga del sobreplan, ó bularcama, se fija en su centro sobre la sobrequilla,

con un perno largo que atraviesa esta varenga, la sobrequilla, la varenga exterior, y que se remacha con anillo en la cara baja de la quilla” (O’Scanlan 1829:21,22; el énfasis es personal).

En esta obra también encontramos referencias relativas al uso de pernos de hierro en otras partes importantes de la estructura. También llama la atención la mención del uso de pernos y clavazón de cobre. Las tablas del forro, por ejemplo, se aseguraban a los miembros (cuadernas) del barco por medio de pernos de cobre dulce (i.e. cobre sin alear). Este material también se utilizó para los pernos que unían la sobrequilla y la quilla a través de cada varenga, de forma perpendicular a su centro (O’Scanlan 1829:24,98).

Las experimentaciones de índole cuantitativa con relación a la tenacidad (resistencia a la tracción) de los varios materiales disponibles, así como acerca de la adhesión diferencial de los pernos de hierro, cobre y madera (cabillas), entre otros aspectos de interés para la construcción naval, comenzaron a realizarse durante la primera mitad del siglo XIX. En el *Treatise on the Theory and Practice of Naval Architecture* de Augustin Creuze pueden encontrarse algunos resultados interesantes sobre este tipo de pruebas (Creuze 1841:89,90). Estas incluyeron, entre otros procedimientos, el uso de ácidos para testear la durabilidad del cobre refinado (y aleado con estaño) usado en pernos y chapas de aforro (Mushet 1836). Más adelante veremos que, además de los aspectos relacionados con el comportamiento de los materiales, el coste fue un factor importante y siempre presente a la hora de evaluar el uso de las piezas.

Aparte de la pernería y clavazón de hierro y cobre, también se emplearon como elementos de sujeción espigas de madera denominadas cabillas (*tree-nails, gournable*). Estas piezas, de sección circular, solían combinarse con aquellos de diferentes modos. Servían para sujetar los tablones del forro y para encoramentar, i.e. ensamblar dos ligazones u otras partes estructurales, que se clavaban en dirección oblicua u perpendicular, según la situación (O’Scanlan 1831:119,240,282). Blackburn se refirió a estas como elementos de sujeción de baja calidad. Entre las cualidades que consideraba negativas, destacó que estaban confeccionados en un material muy débil (por esta razón solían deteriorarse rápidamente) y que el lugar alrededor de los orificios hechos para clavarlos era

donde las partes de madera comenzaban a dañarse. Según sus comentarios, en ocasiones las partes estructurales se perforaban a tal punto que no podían soportar ni su propio peso. En otras palabras, eran inferiores a otros en términos de seguridad, durabilidad e, incluso, economía (teniendo en consideración que a lo largo de los años debían ser reemplazados varias veces). Por ello es que, cuando se empleaban cabillas, era fundamental que fueran siempre de una madera estacionada y resistente. Al respecto, mencionó que en algunos barcos de guerra habían sido usadas maderas muy blandas (*Pinus rigida*) y que, en su lugar, podían aprovecharse las especies disponibles en zonas tropicales. Destacó que tanto los españoles como los portugueses rara vez hacían uso de cabillas en sus barcos, que se caracterizaban por ser duraderos (Blackburn 1817:179,180).

Pese a estas afirmaciones, las cabillas de madera tenían varias ventajas, lo que las hizo populares en varias regiones. Comparadas con los componentes de metal, eran menos costosas y más livianas, dañaban menos la madera durante el uso (por ende, solían ser más estancas), no representaban un obstáculo cuando era necesario realizar un orificio pasante y no sufrían el deterioro ocasionado por el agua marina y los ácidos de maderas como el roble (McCarthy 2005:64).

Métodos de producción

El hierro empleado durante la mayor parte del siglo XVIII se producía por medio de la reducción directa (en un horno bajo y abierto) o indirecta (en un alto horno). En el primer caso, el hierro esponja o goa se forjaba hasta convertirlo en tocho. En el segundo, previo al forjado era necesario llevar a cabo un proceso de refinamiento para eliminar el alto contenido de carbono del arrabio (véase el anexo 1: HIERRO FORJADO). En el capítulo 2 vimos algunos de los principales centros de producción de hierro de la época que nos ocupa, destinado al consumo local y en el extranjero.

El método tradicional para la producción de pernos y clavos (más adelante veremos el caso de las tachuelas) fue la forja manual en caliente. Estos elementos de hierro se manufacturaban partiendo de preformas como barras, que habían

sido obtenidas a partir de los tochos de hierro forjado.¹³ A lo largo del siglo XVIII, los procesos de fabricación en algunos talleres incorporaron maquinaria para trabajar el hierro. Es el caso de las fanderías, adonde se transformaban las planchas provenientes de las ferrerías en barretas de sección cuadrada (tiradillos) o rectangular (flejes) de distinto tamaño. Para ello, se hacía uso de un tren compuesto por una máquina de rodillos, que le imprimía a las planchas el grueso y largo necesarios, junto a otra máquina con la que luego se cortaban. Las instalaciones tenían uno o varios hornos de reverbero, que se empleaban para calentar el fierro. Muchas hicieron uso de la energía hidráulica para el movimiento de las máquinas. En el trabajo de Egaña se describe el equipamiento, funcionamiento y producción de la fandería de Rentería, única hasta ese entonces en España (Egaña 1788:217-222).

Este tipo de talleres con laminadores y máquinas de corte accionadas mediante energía hidráulica existían en otros lugares de Europa desde la primera mitad del siglo XVIII. La obra de Emanuel Swedenborg *Regnum subterraneum sive minerale de ferro*, publicada en 1734, indica que ya se la empleaba en Suecia, Inglaterra y Alemania en aquella época (Swedenborg 1734:252, lámina 29).¹⁴ En las figuras 6.8 y 6.9 ilustramos el interior de dos instalaciones con este tipo de instrumental. La materia obtenida en estos sitios era enviada a las fraguas privadas y de los arsenales navales, adonde los herreros obtenían pernos y clavos de diferentes largos, diámetros y formas, calentando el hierro (al rojo, i.e. ca. 800 °C) y trabajándolo sobre un yunque. Se estima que un herrero especializado podía fabricar manualmente cientos de clavos por día (McCarthy 2005:86-88).

¹³ Tradicionalmente, las ferrerías del País Vasco repartieron estas dos operaciones. Mientras que en unas se elaboraban los tochos, en otras se obtenían productos semielaborados tales como barras, cuadrillos, planchuelas, etc. En ambos casos se aplicó la energía hidráulica, para accionar los fuelles y mazos (Urteaga 1999:40).

¹⁴ No podemos dejar de mencionar el ingenio que montó el español Juan de Herrera en Berna, cerca de Durango, a fines del siglo XVI. Esta maquinaria, accionada por medio de energía hidráulica, servía para laminar y cortar barras de hierro en pequeños segmentos para hacer clavos y otras cosas. Habría sido ideada a partir de las máquinas de rodillos alemanas que se utilizaban para el trabajo de la moneda, que eran bien conocidas por Herrera. Esta invención, pese a sus ventajas, parece no haber tenido un fuerte impacto, dada la continuidad que presentó durante mucho tiempo el método de martillado (García Tapia 1999).

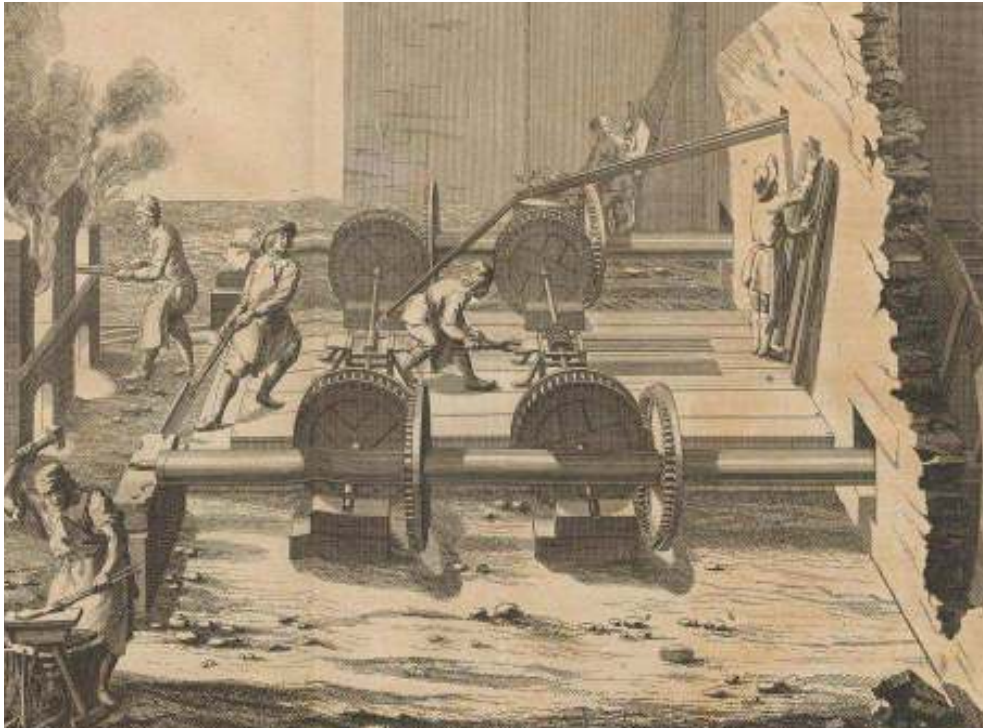


FIGURA 6.8 – MÁQUINA PARA CORTAR PLANCHAS DE HIERRO.

Interior de una fondería, adonde se puede observar la maquinaria hidráulica para cortar planchas de hierro en barras. Las planchuelas eran extraídas del horno (izquierda) y pasadas a través de los rodillos (centro). Las dimensiones del equipo sugieren que únicamente podían obtenerse barras de una sección relativamente pequeña.

Fuente: Swedenborg (1734), *Regnum subterraneum sive minerale de ferro*, lámina 29.

El proceso de refinado del hierro patentado por Henry Cort en 1783, al que hicimos referencia en el capítulo 2, constituyó una innovación con importantes implicaciones para la fabricación de elementos de sujeción. Mediante el pudelado fue posible obtener un producto más barato y de notable calidad, comparable al importado de Suecia. Para eliminar las impurezas remanentes del producto obtenido del horno, Cort perfeccionó además el sistema de rodillos ranurados (*grooved rollers*) diseñado por John Purnell en 1766 para la fabricación de pernos de hierro (Tylecote 1976:110,111).

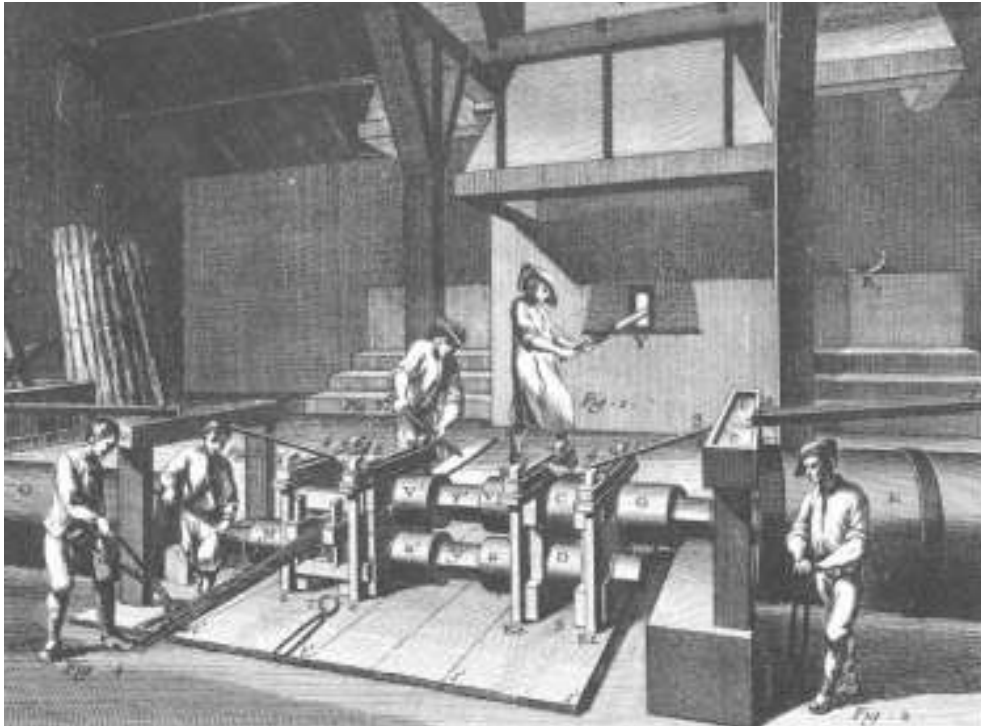


FIGURA 6.9 – MÁQUINA PARA LAMINAR Y CORTAR PLANCHAS DE HIERRO.

Equipo de rodillos planos y ranurados, accionado por medio de energía hidráulica, que servía para laminar y cortar planchas de hierro en barras de sección cuadrangular. Al igual que en el caso anterior (Fig. 6.8) las planchuelas se calentaban previamente en un horno anejo a la laminadora (atrás).

Fuente: Diderot y d'Alembert (1765), *Forges ou Art du Fer*, Sección Quinta, lámina 3.

Los clavos cortados a máquina constituyeron otro de los cambios importantes de la época, sobre todo en Norteamérica. La forma base era una plancha laminada, cuyo ancho coincidía con el largo del clavo, que mediante una máquina se cortaba en tiras con forma de cuña. El proceso podía realizarse en frío en el caso de los clavos más pequeños,¹⁵ no así en los de mayor tamaño. Inicialmente, la cabeza se confeccionaba por medio de forjado. Luego, se introdujeron máquinas que realizaban ambas operaciones. Si bien estos clavos sustituyeron rápidamente a los de hierro forjado en ciertos ámbitos, no ocurrió cosa semejante en la industria de

¹⁵ Debido al endurecimiento que sufre el cobre al ser deformado en frío, la producción de piezas bajo estas condiciones requería por lo general de recocidos intermedios (para mejorar la capacidad de deformación del material) y al finalizar el proceso.

la construcción naval. Los primeros clavos cortados no eran considerados aptos para su uso en los barcos. Presentaban cierta fragilidad, debido a la orientación de las inclusiones en el astil, que era perpendicular al sentido de laminación original de la chapa. Este problema no pudo resolverse satisfactoriamente sino hasta la introducción de rodillos laminadores accionados por medio de máquinas de vapor, razón por la que los clavos forjados continuaron vigentes hasta entrado el siglo XIX (McCarthy 2005:89,90).

La producción de elementos de sujeción de cobre también experimentó varios cambios en este período. Al igual que en el caso de los pernos y clavos de hierro, la forma tradicional de fabricar este tipo de elementos en cobre fue partiendo de un tocho de forma rectangular, al que se le daba la forma deseada por medio de un proceso de forja manual. Un caso finisecular que da cuenta de este proceso es uno de los clavos con astil de sección cuadrangular (del tipo usado para las tablas de forro) hallado en el navío español *Triunfante* (1795). Las características microestructurales de este artefacto muestran que fue hecho a partir de una barra de cobre colado con cierto contenido de oxígeno, que se martilló en caliente. Dada la menor distorsión que sufrió la cabeza durante el conformado, allí aún se puede reconocer la estructura que da cuenta del estado original de la materia prima empleada (véase el anexo 7). Los clavos del navío francés *Fougueux* (1805) también fueron manufacturados en cobre, por medio de martillado en caliente. Una de estas piezas presenta evidencias de trabajado en frío cerca de la punta (granos con cierta deformación), hecho que puede estar relacionado con la intención de conferirle mejores propiedades mecánicas (véase el anexo 8).

A finales de 1783, e inspirado en el sistema de Cort antes referido, William Forbes patentó un nuevo método para la fabricación de pernos de cobre (o aleación de cobre). El procedimiento consistía en pasar una barra de este material por un par de rodillos ranurados, de tamaño sucesivamente menor. La terminación de las piezas se producía por medio de martillado (McCarthy 2005:105,106). Según Harris, en el caso de las piezas de cobre sin alear, el procedimiento podía realizarse tanto en caliente como en frío (Harris 1966:555). Esta novedad permitió resolver el problema del deterioro ocasionado sobre los pernos de hierro del casco debido al contacto con las chapas del revestimiento de cobre (véase más abajo).

Es probable que el procedimiento de Forbes se haya extendido más rápido en Gran Bretaña que en cualquier otro lugar. Asimismo, este método u otro similar (el anterior no fue el único) habría coexistido durante algún tiempo con la modalidad precedente, especialmente en las pequeñas forjas carentes de maquinaria. Al respecto, el perno del sitio francés mencionado unas líneas arriba muestra indicios microestructurales que sugieren una fabricación de tipo manual, por medio de martillado en caliente o en frío (con recocidos intermedios), a partir de una varilla o una forma base similar de cobre sin alear (véase el anexo 8). Las características que exhibe uno de los pernos de cobre del *HMS Sirius* (1790) son consistentes con un proceso de manufactura mediante forjado en frío partiendo de un lingote. Aunque la recristalización de los granos indica que el perno fue calentado al menos una vez, la dureza y las inclusiones no metálicas fragmentadas evidencian que durante la instancia final del conformado se produjo una reducción de la sección sin ulterior recocido (Samuels 1983:73,74). Ya entrado el siglo XIX, también se utilizaron pernos de latón. El zinc, además de abaratar costos, le habría conferido a estos elementos estructurales mejores propiedades mecánicas (e.g. McAllister 2012:41,42).

A partir del uso de aleaciones de este metal desde comienzos del 1800, los clavos utilizados en el casco de los barcos también se produjeron por medio del método de fundición y colada en molde. Los artefactos recuperados del sitio Deltebre I (1813), por ejemplo, muestran que en este barco se utilizó una combinación de pernos de cobre y clavos de aleación de cobre. La microestructura de estos últimos es de tipo dendrítica, propia de un proceso de solidificación del material (véase el anexo 10). El uso de clavos de estas características se extendió a lo largo de la centuria y ha sido reportado en sitios arqueológicos de diversa procedencia (e.g. MacLeod y Pitrun 1996; Murray et al. 2009; De Rosa et al. 2010; Cohen et al. 2015).

Las arandelas utilizadas en los pernos de hierro solían realizarse mediante punzonado de tiras del mismo material, que eran luego recortadas. Aquellas destinadas a los pernos de cobre o aleación de cobre, o bien podían obtenerse de un modo similar al anterior o bien por medio de forjado (McCarthy 2005:91). Al respecto, las características microestructurales de una de las arandelas de cobre

del sitio *HMS Sirius* (1790) son sugerentes (MacLeod 1994:274,275).¹⁶ Una tercera opción, según el examen llevado a cabo sobre uno de los ejemplares del sitio Deltebre I (1813), consistía en realizarlas mediante fundición y colada (véase el anexo 10).

La búsqueda por mejorar las prestaciones mecánicas de los elementos de sujeción estuvo fundamentada en los conocimientos empíricos que por aquel entonces tenían los artesanos con relación a los materiales y métodos utilizados. La experimentación con diferentes aleaciones fue materia corriente. La variabilidad que puede apreciarse en los materiales de procedencia arqueológica puede considerarse prueba de ello. Por otro lado, los efectos que ocasionaban los procesos termo-mecánicos sobre sus propiedades tampoco pasaron inadvertidos. Algunas referencias documentales de principios del siglo XIX dan cuenta de las operaciones que se llevaban a cabo a fin de conseguir las prestaciones deseadas. En la edición de 1809 de la Enciclopedia Británica (*The British Encyclopedia, or Dictionary of Arts and Sciences*), vol. 4, encontramos una breve mención sobre el tratamiento térmico que, se decía, era aplicado a los clavos que eran demasiado frágiles. A fin de hacerlos más tenaces, se calentaban en un badil (pala utilizada para recoger y mover las ascuas del fuego) y se les aplicaba una capa de cebo o grasa (Nicholson 1809).

Muchos elementos de fijación de cobre llevaban diferentes inscripciones diagnósticas. La marca típica de la Real Armada británica, i.e. la flecha del Almirantazgo (*broad arrow*), está presente en diversos elementos de fijación. En el *HMS Sirius* (1790), los clavos y tornillos de cobre asociados a los goznes del codaste, así como varios de los pernos y arandelas, también de cobre, llevaban esta marca distintiva (véase Stanbury 1998). Esta también fue registrada en algunos pernos de una lancha británica utilizada durante la guerra de 1812 con EE.UU. (Amer 1986:21,22). En el *HMS Pandora* (1791) también se hallaron numerosos pernos (pasantes y no pasantes) y clavos de cobre de distinto tamaño. Algunos pernos están marcados o bien con la flecha del Almirantazgo o bien con el nombre del fabricante (*Roe & Co*). Es interesante destacar que en 1778, cuando se construyó el *Pandora*, el uso de pernos de cobre estaba en una fase experimental,

¹⁶ En este sitio se hallaron más de 200 arandelas, cuya distribución indica que probablemente formaban parte de los depósitos del barco, i.e. como elementos de repuesto (Stanbury 1994:54).

y es posible que este barco haya sido una de las ocho fragatas mandadas a construir con estos nuevos elementos de sujeción. En este sitio también se hallaron los restos concrecionados de diferentes pernos de hierro, e.g. pasantes, con cáncamo y argolla (Campbell y Gesner 2000:54-61). Piezas de cobre de similares características fueron reportadas en otros barcos británicos de la época, tales como el *HMS Sirius* (1810) (von Arnim 1998:41). Además de los pernos y clavos, muchos otros elementos de metal fabricados por contrato para la Real Armada británica llevaban inscrita la flecha del Almirantazgo, el nombre del fabricante y/u otras tantas marcas específicas (véanse los capítulos 7 y 8, con relación a las anclas y la artillería, respectivamente).¹⁷

REVESTIMIENTO DE LOS CASCOS DE MADERA¹⁸

El fondo de los barcos estaba expuesto al biodeterioro ocasionado por la acción de moluscos¹⁹ y crustáceos perforantes de madera, así como por organismos incrustantes (*biofouling*). Ello significó un serio problema a lo largo de la historia, tanto para la operatividad (i.e. velocidad, maniobrabilidad) como para la durabilidad de las naves:

“Una infestación severa de teredos [*Teredo navalis*] puede reducir en pocos años una flamante nave de madera a un casco con filtraciones, a punto de hundirse, si no se toman las medidas para evitar o, al menos, mermer el ataque de teredos. Mientras que el ataque de teredos puede

¹⁷ Como medida de control de calidad, los fundidores de cobre encargados de suministrar diversos accesorios (e.g. los cáncamos de la cadena del timón, los goznes del codaste y las abrazaderas del talón del tajamar) a la Real Armada británica, fueron instados en 1784 a firmar los productos de su trabajo (Stanbury 1998:222).

¹⁸ Parte de la información de este acápite fue presentada en el *X Congreso Ibérico de Arqueometría* (2013, Castellón, España) y se encuentra desarrollada en un trabajo recientemente publicado (Ciarlo et al. 2016).

¹⁹ Los más conocidos son los moluscos bivalvos de la familia Teredinidae, compuesta por alrededor de una docena de géneros (Bastida et al. 2010:272). El más comúnmente citado en la bibliografía es el *Teredo*, en particular el *T. navalis* (conocido vulgarmente como broma; *naval shipworm*, en inglés). Para mayor información sobre este último género, consultar el informe de Masterson (2007) del Smithsonian Marine Station en: www.sms.si.edu/irlspec/Teredo_navalis.htm.

ocasionar graves daños al casco de un barco, el crecimiento de organismos marinos sobre el casco reducirá la velocidad de la nave y la facilidad de manejo en el mar” (Staniforth 1985:21; la traducción es personal).

Frente a ello, desde antaño se implementaron diversos métodos de protección de los fondos (obra viva). El conocimiento sobre los revestimientos utilizados para proteger los fondos de los barcos ha llegado a nosotros por medio de diversas fuentes documentales, así como por estudios de carácter histórico y arqueológico (Fig. 6.10).



FIGURA 6.10 – NAUFRAGIO MONTERREY (SITIO 15577).

Barco de principios del siglo XIX hallado en el Golfo de México. En la imagen se observa el forro metálico del sector de proa. Las planchas de cobre, aún erguidas luego de haberse deteriorado la estructura de madera, mantienen la forma del barco. Nótese que, siguiendo la línea de la roda, se conservan algunas marcas de calado de plomo (que también están presentes en la popa).

Foto: NOAA Okeanos Explorer Program. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Breve reseña histórica

Nuevas y viejas soluciones a un antiguo problema

La evidencia material disponible actualmente indica que el uso de planchas metálicas para la protección del fondo de los barcos de madera se remonta a los tiempos de los navegantes griegos y latinos. La solución a la que se llegó para mitigar el problema de la broma fue el empleo de chapas de plomo, fijadas sobre las tablas del forro exterior mediante tachuelas de cobre. Además de constituir una barrera física contra los moluscos y crustáceos perforantes, estas planchas actuaban como agentes repelentes de organismos incrustantes y le habrían conferido a los barcos mayor estanqueidad y estabilidad (Kahanov y Ashkenazi 2011:768).

Varios naufragios de aquella época atestiguan los hondos antecedentes de esta práctica naval. Staniforth mencionó el caso del barco mercante griego del siglo 4 a.C., excavado cerca de Kyrenia (Chipre) y los barcos romanos hallados en el siglo XIX en el Lago Nemi (Italia), entre otros casos (Staniforth 1985:21). Más recientemente, Kahanov y Ashkenazi analizaron un conjunto de chapas provenientes de cinco sitios de período romano, localizados en el *Mare Nostrum* (Mediterráneo). La caracterización de la microestructura y composición química de las muestras permitió determinar que fueron realizadas con plomo sin alear, mediante martillado manual a temperatura ambiente (Kahanov y Ashkenazi 2011:773). Se estima que este sistema fue aplicado a dos tercios de los barcos que navegaron durante el período romano (Gianfrotta y Pomey 1980, citado en Kahanov y Ashkenazi 2011:768).

Es probable que la técnica de forrar los barcos con planchas de plomo haya persistido en algunos lugares del sur de Europa hasta época moderna, aunque ciertamente no gozó de la misma aceptación que tuvo en la Antigüedad. Aunque existen referencias que dan cuenta del uso de planchas de plomo en los barcos españoles hacia el siglo XV, su empleo en el resto de las Marinas parece haber estado subordinado a otros métodos de protección.²⁰

²⁰ Si los conocimientos de la antigüedad se extendieron sin solución de continuidad hasta aquella centuria o si, por el contrario, la técnica cayó en desuso y se introdujo siglos más tarde, es un tema que merece ser indagado a la luz de nuevos hallazgos arqueológicos. Al ser pocos los barcos estudiados del período intermedio, el tema yace aún en el terreno de la conjetura.

La práctica usual para proteger los barcos de la broma y otros organismos consistía en carenarlos en la playa. Brevemente, el barco se tumbaba sobre un costado (se descubría o enseñaba la quilla), se raspaban los organismos, algas y podredumbre seca adherida sobre el fondo descubierto, y luego se untaban las tablas del forro exterior con el residuo obtenido del hervor de una mezcla de sebo y resina. Esta modalidad fue efectiva mientras las naves se mantuvieron fuera del alcance de los organismos perforantes de madera más nocivos, i.e. los pertenecientes a la familia Teredinidae. Los barcos ingleses, por ejemplo, no tuvieron mayores inconvenientes en las aguas del norte de Europa y pudieron hacer frente a los organismos perforantes de la zona (principalmente los crustáceos isópodos de la familia Limnoriidae), mediante el control periódico de los cascos. Pero el crecimiento de las actividades navales durante el período moderno —en parte reflejado por un incremento en la extensión de los recorridos realizados, muchos en condiciones ambientales propicias para el desarrollo de los organismos antes mencionados—²¹ demandó la aplicación de medidas adecuadas para la protección de los barcos. Así, se inició una época de experimentación y uso de diversos tipos de revestimientos, tales como el forro de sacrificio y el forro de plomo (Glasgow 1967:177-179).

El primero fue propuesto en algún momento a comienzos del reinado de Elizabeth I por John Hawkins (hijo de William Hawkins, uno de los primeros marinos ingleses en aventurarse hacia latitudes más australes). Este método, barato y sencillo, sería utilizado por casi dos centurias en su nación y, con mínimas variaciones, en el resto de las marinas de guerra europeas. La novedad consistía, según la describió Sir Richard Hawkins (hijo de John), en utilizar delgadas planchas de madera (*'yatch planks'*), que copiaban fácilmente el contorno del casco, embadurnadas en su cara interna con una capa de alquitrán y pelo. Aunque otros autores han sostenido esta capa se colocaba sobre la superficie de madera del casco, este no parece haber sido el método de Hawkins. Por otro lado, las tablas de madera podían fijarse con tachuelas de hierro, menos costosas que las que debían emplearse en las planchas de plomo. Aunque se desconoce con qué rapidez se incorporó este sistema, una vez aceptado fue ampliamente utilizado (Glasgow

²¹ El teredo estaba prácticamente confinado a su ambiente natural, las aguas cálidas que se extendían desde el sur de Florida hasta el sur de Brasil en América y desde el sudoeste de Marruecos hasta el África sudoccidental portuguesa (al otro lado del Atlántico).

1967:180-182). Paralelamente, durante los siglos xvii y xviii se experimentó con otros compuestos que resistieran el ataque de perforantes y mejoraran el tipo de protección anterior. Varias propuestas fueron patentadas, y destacó por su probada efectividad una mezcla de brea, alquitrán y azufre, preparada por el maestro calafateador de Portsmouth, el Sr. Lee (véase Staniforth 1985:22-23).

El segundo, del que ya se tenía conocimiento en España, se habría introducido en Inglaterra como novedad hacia mediados del siglo xvi, aunque en un comienzo no se lo consideró satisfactorio. Así parecen sugerirlo los aspectos negativos a los que se hizo referencia en aquel entonces: el peso del plomo (que interfería con la velocidad y maniobra del barco), el elevado coste de las planchas y las tachuelas de cobre y la poca duración de aquellas, que se desprendían fácilmente (Glasgow 1967:180,181). Años más tarde se realizó el primer intento serio de implementar este revestimiento, gracias a las pruebas desarrolladas por Philip Howard y Francis Watson, que en 1670 los condujeron a patentar un método de forrado con planchas de plomo laminadas. Habiéndoseles concedido el derecho por un tiempo de 25 años y gracias al visto favorable del Rey Carlos II, durante su reinado se forraron en plomo (con tachuelas de cobre) veinte barcos de la Real Armada. Sin embargo, el entusiasmo de este monarca no coincidió con el del Consejo Naval, que mostró su preocupación por el avanzado deterioro de los pernos y el codaste de los barcos que habían sido forrados con este tipo de planchas. Luego de este llamado de atención se realizaron otras pruebas, pero el sistema quedó discontinuado por completo en 1770 —luego de que el *Marlborough* perdiera casi todas las planchas— debido a los problemas ocasionados sobre la pernería y clavazón de hierro estructurales. Al parecer, no se realizaron más experimentos en torno a este más allá de mediados del siglo xviii (Staniforth 1985:22).²²

En adelante, los ojos estarían puestos casi por completo en las experimentaciones con el aforro de cobre. De este nos ocuparemos a continuación.

²² Para mayor información sobre la historia del uso del plomo como aforro de barcos de madera, véase Marr (2012). Las planchas de plomo continuaron empleándose para forrar ciertos compartimentos del interior de los barcos de guerra (e.g. la cocina y el almacén de pólvora). En ocasiones, además, sirvieron para revestir sectores específicos de los cascos. Los barcos de guerra franceses que estaban forrados con cobre tenían, a modo de protección mecánica adicional, planchas de plomo en la roda, el codaste, el timón y la zapata. Además, existen registros documentales de su utilización para revestir las costuras inferiores del palo mayor (Boudriot 2000, citado en Rodríguez Mariscal 2010:133).

La introducción del forro de cobre

Desde comienzos del siglo XVIII se realizaron varios intentos por implementar el forro de cobre (inclusive de aleación de cobre) en los barcos mercantes y de guerra, que por diversas razones no prosperaron (Staniforth 1985:23).²³ Habría que esperar algo más de medio siglo para que el método ideado por Hawkins para proteger el casco de los barcos de madera fuera puesto en jaque. Como parte de la tendencia imperante por mejorar los revestimientos y luego de algunas experiencias parciales, en 1761 la Real Armada británica mandó forrar por completo el fondo de la fragata de 32 cañones *HMS Alarm* con finas planchas de cobre. Al cabo de dos años de servicio en las Indias Occidentales, se redactó un informe en el que se detallaban los resultados de la experiencia con este nuevo revestimiento.²⁴ En particular, la ausencia de organismos nocivos donde las planchas habían permanecido intactas dio cuenta de la efectividad del cobre como medio de protección. Ello sentó las bases para su posterior aplicación en los barcos de guerra, primero, y en los comerciales, luego de unos años (véase Harris 1966; Harland 1976). No obstante, la aplicación de este método para la protección de los fondos no encontró total aceptación de inmediato, ni se introdujo de forma simultánea en las principales armadas europeas.

En Inglaterra, los resultados reportados luego del viaje del *Alarm* convencieron a las autoridades de continuar aplicando este tipo de protección. En la figura 6.11 ilustramos el modelo que supuestamente le fue enseñado al rey Jorge III para transmitirle la utilidad del aforro de cobre.²⁵

Hacia el año 1770, en un contexto de confianza acerca de las bondades de este último, los siguientes barcos de 5to. y 6to. rango habían sido revestidos y enviados

²³ Los costos de este sistema no eran despreciables, sino que representaban una parte considerable del importe total de un barco. La primera propuesta realizada al Primer Lord del Almirantazgo y al Consejo Naval para utilizar planchas de cobre como aforro de los barcos de guerra, en 1708, fue en parte rechazada debido al elevado coste de este producto (Cock 2001:448). A la postre, la necesidad de contar con una fuerza estable en aguas tropicales, así como la eficiencia de este tipo de protección frente a los métodos usuales, justificaron la inversión.

²⁴ El informe original puede leerse en U.S. Naval Institute (1952:220-221).

²⁵ Estos modelos estaban hechos a escala y con un grado excepcional de detalle (en su exterior e interior), por lo que constituyen una fuente de información singular para estudiar ciertos aspectos de la construcción naval de la época.



FIGURA 6.11 – NAVÍO DE 74 CAÑONES *HMS BELLONA* (1760).

Modelo a escala (1:38,4) del casco del barco, dispuesto sobre una rampa de lanzamiento (ca. 1770). El barco de tercer rango fue botado en el año 1760 y sirvió a las órdenes de Nelson en la batalla de Copenhague en 1801. Está revestido con cobre por debajo de la línea de flotación. Se cree que fue el modelo empleado para mostrarle al rey Jorge III el sistema de revestimiento de cobre. Dimensiones del modelo: 56 x 160 x 37 cm.

Fuente: National Maritime Museum, Greenwich, Londres. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

en comisión al exterior (a América y las Indias Orientales): *Alarm*, *Tartar*, *Dolphin*, *Tamar*, *Swallow*, *Aurora*, *Stag* y *Hawke*. Entre estos, el *Dolphin* fue el primero en estar equipado con goznes de cobre (véase Cock 2001, para un análisis detallado sobre los resultados obtenidos durante estas experiencias inaugurales). Pese a la efectividad del cobre como elemento de protección contra el ataque de los organismos perniciosos, el uso de estas planchas trajo aparejados otros inconvenientes, que requirieron ser resueltos antes de continuar con el programa de revestimiento de los barcos de guerra.

El deterioro de los elementos de sujeción de hierro

El principal problema fue el deterioro de los elementos de sujeción estructurales de hierro, que se encontraban en contacto —continuo o intermitente, mediante un electrolito, i.e. el agua salobre— con las planchas de cobre por debajo de la línea de flotación, producto de la acción galvánica generada entre estos.²⁶ Este fenómeno fue advertido entre los armadores de la Real Armada Británica, quienes desde temprano se percataron de los daños que ocasionaban las planchas de cobre. En el reporte sobre el *Alarm* se llamó la atención sobre este asunto.²⁷ Los efectos de este tipo de corrosión ocasionaron importantes pérdidas, tanto materiales como humanas, y por ello se convirtió en un problema central por resolver (Staniforth 1985:24).

Los barcos con forro de cobre debían ser sujetos a periódicas reparaciones a lo largo de sus años de servicio (Winfield 2005:76). Durante los recorridos de los

²⁶ Cierta grado leve de corrosión en los pernos de hierro era beneficioso, dado que aumentaba su poder de sujeción. No obstante, a la larga, la progresión de este deterioro conducía a la pérdida de sus cualidades mecánicas. Este proceso corrosivo tenía además consecuencias perniciosas sobre la madera que los rodeaba, que termina pudriéndose (McCarthy 2005:109).

²⁷ La observación de las consecuencias de la corrosión galvánica dentro del ámbito naval fue anterior a la segunda mitad del siglo XVIII. En Inglaterra, un siglo antes, el uso de revestimiento de plomo también trajo aparejado el deterioro de los elementos de sujeción ferrosos. No obstante, y aunque las evidencias de este tipo de corrosión pudieron haber sido percibidas incluso dentro de otros ámbitos, la escala de las pérdidas no debió suponer una pérdida económica significativa, al menos no lo suficiente como para indagar seriamente en los medios para evitar o mitigar los perjuicios ocasionados. Además, estos aún podían solucionarse a un bajo coste durante las operaciones regulares de mantenimiento de los barcos.

cascos, se sustituían los pernos de hierro que estaban en malas condiciones, lo cual era una tarea difícil que insumía mucho tiempo.²⁸ Por tal motivo, no hubo intentos por extender el uso de este revestimiento a los barcos de mayor porte (primer a tercer orden). Antes era necesario remediar el problema. Y si bien durante los primeros años se propusieron diversas soluciones, las medidas adoptadas demostraron el desconocimiento imperante acerca de las condiciones de ocurrencia del fenómeno corrosivo en cuestión (Staniforth 1985:24). En el citado informe, por ejemplo, se propuso cubrir las cabezas de los pernos y otras superficies de hierro con franela y una fina película de plomo, pero esto tampoco fue efectivo. La aislación de los pernos por medio de una gruesa capa de material fibroso (*paper*) se consideró efectiva durante un tiempo, y posibilitó retomar el plan de forrar con cobre los barcos de la flota.

La clave se encontraba en reemplazar el hierro por el cobre por debajo de la línea de flotación. En los primeros barcos que se forraron con cobre se realizaron algunas pruebas; sin embargo, los pernos utilizados carecían de las prestaciones mecánicas que tenían las piezas de hierro.²⁹ En un nuevo intento por resolver el problema, la Armada les encargó a James Keir y Matthew Boulton que desarrollaran pernos de cobre de mejor calidad. De resultas, se fabricaron pernos con una aleación que tenía 100 partes de cobre, 75 de zinc y 10 de hierro (conocida como metal Keir). Sin embargo, luego de ser probados, en 1781 se concluyó que no eran satisfactorios. La necesidad de mantener la flota en aguas lejanas durante extensos períodos de tiempo, en especial dentro de un escenario de conflicto con Francia, España y las colonias americanas, motivó seriamente la introducción del revestimiento en la flota. Desafortunadamente, la tarea se emprendió antes de resolver de modo efectivo el problema de la corrosión de los elementos de hierro. A principios de 1782, un total de 82 navíos —muchos aún tenían pernos y clavos de

²⁸ La vida media de los barcos del siglo XVIII podía llegar a ser de varias décadas. En el caso de los barcos de menores dimensiones (que eran utilizados con mayor frecuencia), como la *HMS Swift*, era unos veinte años (Elkin et al. 2007:6). Otros buques, de mayor rango, permanecían operativos por mucho más tiempo. Entre los casos analizados en este trabajo, se destaca por su extenso servicio (entre 1756 y 1795) el navío español de 74 cañones *Triunfante*.

²⁹ Uno de los metales con que se experimentó fue la aleación de cobre, estaño y zinc conocida de forma genérica como *mixed metal* o *compound metal*. La composición de este material era variable. Según Knowles, el *mixed metal* consistía en cuatro partes de cobre, una de estaño y, en ocasiones, cierta proporción minoritaria de zinc. Tal como resaltó este autor, los pernos manufacturados con este material se consideraron muy quebradizos para su uso como elementos estructurales (Knowles 1821:69).

hierro bajo la línea de flotación— habían sido forrados con cobre.³⁰ Ese mismo año, el navío de 97 cañones *HMS Ramillies* y el de 74 *HMS Centeur* naufragaron a causa del deterioro de los pernos. La controversia llegó a su punto más álgido: mientras que algunos consideraban difícil volver atrás, otros proponían abandonar el uso del revestimiento de cobre. Por fortuna para los primeros, la solución no tardó mucho más tiempo en aparecer (Staniforth 1985:24,25).

El problema quedó zanjado gracias a la introducción de los pernos de cobre fabricados por medio de rodillos ranurados (véase más arriba). A finales de 1783, el Consejo Naval descartó el metal Keir y, en 1786, resolvió que todos los barcos de la flota tuvieran los nuevos pernos de cobre endurecido (Knight 1973:306,307). En este sentido, cabe resaltar, el uso del revestimiento de cobre tuvo un fuerte impacto sobre los pernos y clavos estructurales. En palabras de McCarthy, aquel fue “la clave de los elementos de sujeción de cobre y aleación de cobre” (McCarthy 2005:101).

Por un lado, se reemplazaron los pernos de hierro —por debajo de la línea de flotación— de muchos barcos que se encontraban operativos. Por el otro, los nuevos barcos que llevarían forro de cobre (e.g. los barcos de guerra de mayor porte) se mandaron a construir con clavazón y pernos de un material similar. Este proceso corrosivo también operaba sobre otras piezas que se encontraban en contacto con las chapas del revestimiento, tales como los herrajes del timón. Al igual que en el caso de los elementos de sujeción, se tomaron los recaudos necesarios que evitar el menoscabo de estos elementos (véase el capítulo 7).³¹ La progresiva sustitución de ciertos materiales por otros menos susceptibles de

³⁰ En enero de 1782, los fondos de 82 barcos capitales (navíos de 1er a 3er orden), 14 barcos de 50 cañones (4to orden), 115 fragatas y 102 corbetas pertenecientes a la Real Armada británica, estaban forrados con cobre. No obstante, el programa se discontinuó hacia mediados de 1783, debido al aún no resuelto problema de los pernos de hierro (Knight 1973:303).

³¹ En el caso de las marcas de calado —referencias numéricas que se colocaban normalmente en la roda (proa), sobre la superficie externa del casco del barco, con el fin de indicar la profundidad del calado— empleadas por la Armada Británica, la evidencia arqueológica sugiere que en algún momento a finales del siglo XVIII comenzaron a utilizar números de cobre en las naves que estaban forradas. Al respecto podemos mencionar el caso de la corbeta de guerra *HMS Swift* (1763-1770) y la fragata de 5to. orden *HMS Sirius* (1797-1810). En el primero de los sitios, en el sector de proa del barco, se hallaron dos números romanos (VII y XV), que indican el calado en pies, elaborados en plomo (Elkin et al. 2011:120-121; Ciarlo 2014:65-66). En el segundo, en cambio, las marcas de calado (I, III, X, XI, XII y XVII) recuperadas del área de popa estaban hechas de cobre (von Arnim 1998:41). Es sugerente que este último buque poseía revestimiento de cobre (o aleación de cobre).

deteriorarse por corrosión galvánica, puede considerarse sintomático de que existió un mayor conocimiento empírico acerca de sus propiedades, en particular de su comportamiento en el medio marítimo. Este anticipó las investigaciones científicas, que finalmente dieron cuenta de la cinética del fenómeno.

Las opiniones acerca de las cualidades de los pernos de hierro y de cobre fueron dispares. Los aspectos más importantes que estaban en juego eran sus propiedades mecánicas, la resistencia a la corrosión, la adhesión a los maderos y el coste. Los elementos de hierro eran considerados por muchos como más tenaces, livianos y —aquí no había dudas— baratos que los de cobre. La principal ventaja de estos últimos era su mejor comportamiento frente a la corrosión, que los hacía más duraderos. Por tales motivos, los pernos de cobre se utilizaron de forma selectiva, únicamente en aquellos lugares que podían estar expuestos al deterioro referido (McCarthy 2005:110).

Las armadas continentales

Inglaterra, no cabe duda, estuvo a la vanguardia del proceso. Le siguió Francia, adonde el forrado con cobre se extendió a partir de los dos últimos decenios del siglo XVIII; y un tiempo más tarde, España. Las ventajas más evidentes de contar con este tipo de revestimiento y los fondos empernados con cobre, fueron la mayor velocidad y maniobrabilidad, la extensión de la vida útil y el menor mantenimiento durante el servicio (McCarthy 2005:108). En cuanto a la velocidad, se estimaba que un barco forrado con cobre era al menos un nudo más rápido. Ello supuso una ventaja táctica significativa para quienes supieron aprovechar esta innovación, teniendo en cuenta la velocidad que podían alcanzar en aquel momento los navíos (Rodger 2006:344).

Hasta ese entonces, Francia había empleado otros métodos usuales de protección, tales como el uso de placas de madera y pinturas. Las tachuelas de hierro también se utilizaron en numerosas oportunidades como revestimiento (véase Wilkinson 1844). En este caso, la superficie del casco era preparada aplicando una mezcla de brea y alquitrán, sobre la que se colocaba una lona que

luego era alquitranada. Después, esta se cubría con planchas de pino, que se claveteaban con tachuelas de hierro, muy próximas unas de otras (ca. 2.700 por metro cuadrado, entre 1 y 2 millones por barco). Este sistema, que estuvo en uso hasta 1784, era efectivo contra los organismos perforantes de madera, pero proveía a los otros de una superficie ideal para que se adhirieran (Boudriot 1993, citado en Breen y Forsythe 2007:45).

El nuevo método empleado por los británicos para revestir los barcos no tardó en hacer eco en Francia, que al poco tiempo comenzó a experimentar. Fue el oficial naval francés Henri de Fulque d'Oraison, quien luego de su visita a Inglaterra durante 1764 y 1765 reportó esta significativa innovación a su país (Ferreiro 2007:21; Bradley 2010:95). El registro más temprano del uso de aforro de cobre en Francia data del año 1767. Se empleó primeramente en la goleta *La Gorée*, construida en Rochefort, que estaba destinada al servicio en las colonias de ultramar. En aquel entonces, se emplearon tachuelas de hierro para fijar las planchas. También se hicieron algunas pruebas en el *Expérience* y el *Belle-Poule*, en 1771, aunque los resultados no fueron demasiado útiles. No fue sino hasta 1773, cuando los franceses capturaron un cúter británico forrado en cobre, que consideraron seriamente los beneficios que este método ofrecía para la protección de los cascos. Entonces, se llevó a cabo el primer experimento formal con la *Iphigénie*, cuyos resultados fueron reportados por Pierre-Alexandre Forfait en 1786.³² En 1778 se forraron otras dos fragatas. La experiencia mostró que las planchas de cobre se desgastaban rápidamente. Frente a esta situación se plantearon diversas alternativas, una de ellas fue mejorar la calidad del material. Así, pronto dejaron de emplearse chapas forjadas y, en su lugar, se optó por las laminadas (Boudriot 1993, citado en Breen y Forsythe 2007:45,46).

Aún faltaba resolver el problema ocasionado por los elementos de sujeción de hierro. La solución fue producto, como en otras ocasiones, de una misión de

³² Antes de colocar las planchas, el casco se calafateaba con una masilla especial (aceite y caliza pulverizada) y luego se cubría con un tejido de estopa, que también era cubierto por una gruesa capa de resina seca. Esta preparación previa fue reemplazada por otras, como el uso de lona directamente sobre la tablazón del casco. Con la incorporación de pernos y clavos de aleación de cobre, en 1785, se hizo innecesario el uso de este tipo de capas intermedias para evitar la corrosión de los elementos de sujeción del casco. A partir de entonces, la preparación de la superficie del casco consistió en la eliminación de irregularidades y un calafateo riguroso (Boudriot 1993, citado en Breen y Forsythe 2007:46).

espionaje industrial. Cuando los británicos consiguieron reemplazar los pernos de hierro y reanudaron el forrado de sus barcos, la noticia llegó pronto a Francia. En 1784, François Ignace de Wendel y Amiable Marie Givry viajaron a Gran Bretaña para estudiar los avances en la producción del hierro y, adicionalmente, en el aforro de los barcos. Un año más tarde, las observaciones realizadas en aquel país por Armand-Guy-Simon de Coethempren, Conde de Kersaint, promovieron el interés de la Marina de Guerra francesa por el uso del aforro de cobre. Al parecer, los productores británicos no tenían reparos en vender sus manufacturas a otras potencias extranjeras en tiempos de paz. El fabricante Matthew Boulton, que fue contratista de la Real Armada británica, envió a sus agentes al exterior y proveyó asistencia técnica. Personal de la empresa se trasladó a Rochefort en 1785 para mostrar sus productos; en particular, los pernos de cobre resultaron ser muy superiores a los utilizados por los franceses, inclusive a los de hierro (Ferreiro 2007:21; Bradley 2010:89,95). Francia siguió los pasos de Inglaterra, aunque en el año 1792 hubo una suba de precios y escasez de cobre, que pese a la negativa de los especialistas llevó a la reintroducción momentánea de los pernos de hierro (Harris 1966:563).

En España, el revestimiento de cobre se introdujo por primera vez en 1782. No obstante, hacia fines del reinado de Carlos III (1759-1788) eran pocas las fragatas españolas que lo tenían. En la figura 6.12 podemos apreciar los restos de una fragata española no identificada, que fue hallada en 1971 bajo tres metros de sedimento en el Caño de los Galeones del arsenal de la Carraca, Cádiz (Andalucía, España), y aún preserva parte del aforro de cobre. Este sistema fue visto con recelo por muchos oficiales de crédito de los estados continentales, que lo consideraron perjudicial porque impedía reconocer las uniones de las tablas del forro exterior y, por ende, tornaba difícil actuar sobre cualquier vía de agua que fuera necesario enmendar. Por ello, se prefería el uso de betunes o pinturas, que no suponían semejante inconveniente (Fernández Duro [1895] 1972-1973:385).³³

³³ Este tipo de productos servía a su vez para resguardar a los buques fuera del agua, así como a otro tipo de estructuras de madera, que se veían afectados por diversos organismos. La vigencia de esta problemática está muy bien representada por el manuscrito de 1770, titulado *Tratado de un feliz descubrimiento utilísimo para la preservación de los navíos, diques y toda suerte de edificio de madera, ya estén dentro del agua ó sobre la tierra, á fin de preservarlos de la corrupción y cualquiera especie de insectos vermiculares, como polillas, carcomas y otros, mediante el uso de un*



FIGURA 6.12 – CODASTE DE UNA FRAGATA ESPAÑOLA CON AFORRO DE COBRE.

Los restos corresponden a un barco de finales del siglo XVIII, de unos 45 m de eslora. En la imagen se aprecia parte del codaste y de la pala del timón, con aforro metálico. Nótese que el macho y la hembra, así como los pernos, son de aleación de cobre.

Fotos: K. Bañuelos 2014. Museo Naval de San Fernando, Armada Española, Cádiz, España. Reproducción autorizada, cortesía del autor.

Durante algún tiempo, el forro de cobre se empleó de modo combinado con las planchas de madera, a fin de prevenir el deterioro ocasionado por aquel sobre los elementos de sujeción de hierro de la estructura. Un ejemplo de la situación anterior es el caso del navío *Triunfante* (1795). Debajo de las planchas de metal, este barco llevaba un forro de sacrificio, que estaba fijado al casco con clavos de aleación de cobre (véase el anexo 7).

Esta combinación de rasgos no fue exclusiva de la construcción naval ibérica. En 1796 la empresa comercial británica Campbell & Clark adquirió en Calcuta un

barniz preservativo contra unos enemigos tan dañosos, perteneciente a la Colección Vargas Ponce (Fernández Duro [1895] 1972-1973:417).

mercante de construcción local para abastecer a Port Jackson (Sydney), en Nueva Gales del Sur. Renombraron a este barco como *Sydney Cove* (1797). Las características estructurales del sitio muestran una influencia europea en el diseño y la tecnología, combinada con el empleo de materiales y métodos locales de construcción. El casco, por ejemplo, fue calafateado utilizando resinas típicas de la India y finas placas de madera, junto con el revestimiento de forro de cobre introducido recientemente en Europa (Nash 2001a:110).

El aforro de los barcos de guerra

Antes vimos que este tipo de protección se introdujo en los barcos de guerra europeos, primero en Inglaterra y luego en las demás potencias continentales, durante el último tercio del siglo XVIII. Los buques eran forrados en la obra viva, i.e. aquella sección del casco que se encontraba sumergida y, por ende, sujeta a la acción de los organismos nocivos para la nave. En el caso de la Real Armada Británica, en un principio, el recubrimiento se realizaba hasta 12 pulgadas por debajo de la línea de flotación. En 1783, por órdenes del Consejo de la Marina, el aforro de los fondos se extendió hasta 16 pulgadas por encima de aquella línea (McKay y Coleman 2010:8).

Especificaciones sobre el tamaño, forma y peso de las planchas

Las planchas de los buques de guerra debían cumplir con ciertas especificaciones de tamaño, forma y peso. No obstante, fuera del ámbito de las marinas de guerra, las piezas utilizadas en diferentes lugares no solían ser tan regulares. Además, sus dimensiones también dependían de la ubicación que ocupaban en el casco del barco (Staniforth 1985:28; Bingeman et al. 2000:220,221). En la figura 6.13 presentamos las características de las planchas empleadas para el revestimiento de la fragata francesa *La Vénus* (1782-1788), según la información disponible en el trabajo de Boudriot y Berti (2004:14,15).

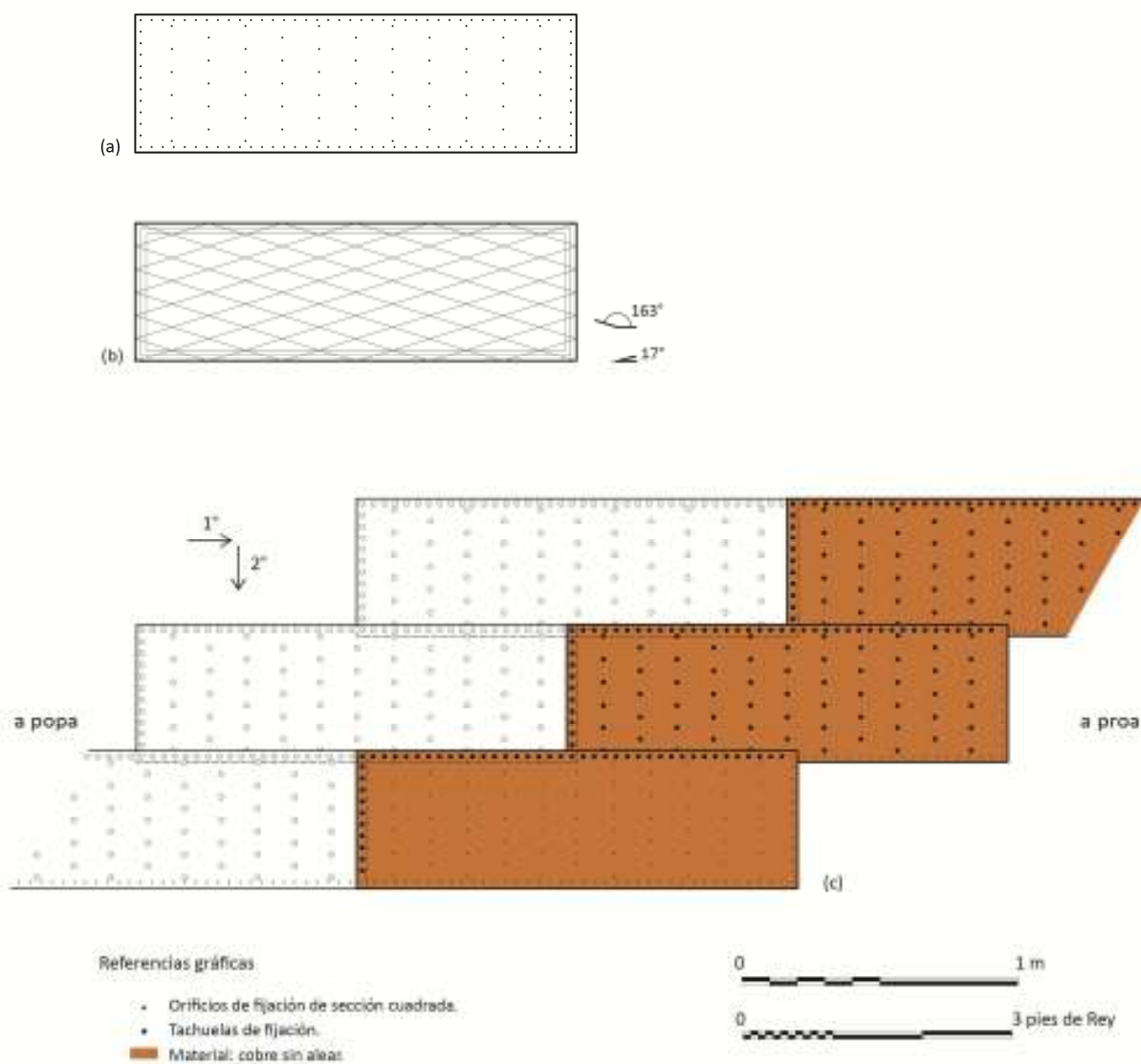


FIGURA 6.13 – FORRO DE COBRE DE LA FRAGATA *LA VÉNU*S (1782-1788).

Diseño de las planchas de cobre: (a) distribución de los orificios de fijación; (b) patrón de clavado; y (c) modalidad de colocación de las planchas de forro. Dimensiones de las piezas (altura x longitud): 50 cm x 160 cm.

Gráfico: N. Ciarlo 2014.

Las chapas utilizadas para forrar al *HMS Alarm* en su primer viaje tenían un peso de 12 onzas por pie cuadrado. Teniendo en cuenta el peso específico del cobre, estas planchas tendrían un espesor de ca. 0,4 mm. Uno de los

inconvenientes reconocidos durante la revisión llevada a cabo a su regreso, fue el desgaste sufrido por el aforro. En base a esta experiencia, en los barcos forrados ulteriormente se mandaron colocar piezas de mayor espesor. El estándar dentro de la Real Armada británica en 1779 era forrar las fragatas con chapas de tres grosores diferentes: 32, 28 y 22 onzas por pie cuadrado. Las más gruesas se colocaron en la proa, adonde el desgaste producido por el agua durante la navegación era más severo, mientras que las más livianas iban en la popa, que según la experiencia era la zona menos afectada (Cock 2001:458). El aforro original del *HMS Sirius* (1790), i.e. aquel colocado al *Berwick* en 1782, estaba compuesto por planchas de estas características. Los restos hallados en el sitio presentan tres espesores diferentes, que coinciden de forma aproximada con las medidas anteriores (Stanbury 1998:225).

El largo y alto también estaban estipulados.³⁴ En el caso de los barcos británicos, las primeras planchas medían 4 x 2 pies (ca. 122 x 61 cm), aunque más adelante el alto se redujo a 14 pulgadas (ca. 36 cm). En el sitio *Sirius* (1810) se localizaron dos planchas íntegras, con las iniciales del fabricante y el año 1808, cuyas dimensiones son 120 x 35,5 cm (von Arnim 1998:41).

Comparativamente, los barcos franceses estaban forrados con planchas de mayor tamaño. Los valores expuestos por Forfait en 1786 (citado en Breen y Forsythe 2007:46) son 5 pies por 1 $\frac{2}{3}$ (ca. 54 x 162 cm, considerando el pie de Rey). Las cifras expuestas por Boudriot y Berti para el caso de *La Vénus* (1788) son consistentes con las anteriores: 160 x 50 cm (Boudriot y Berti 2004:14,15). El espesor, por otro lado, se encontraba dentro de los límites del rango mencionado en el caso de las piezas británicas (ca. 0,75 mm). En el caso de España, las planchas utilizadas para forrar un navío de 70 a 74 cañones en 1795 tenían las siguientes dimensiones: 72 $\frac{3}{4}$ x 22 $\frac{1}{2}$ pulgadas y media línea de espesor, i.e. ca. 169 x 52 cm y 1 mm de espesor (Artiñano y de Galdácano 1920:375). El alto es similar al de las chapas del navío *Triunfante*, aunque estas son considerablemente más cortas (véase el anexo 7).

³⁴ Largo (longitud, en el sentido de la eslora); altura (anchura, en el sentido del puntal); y espesor (corresponde al grueso de las planchas).

Colocación de las chapas y patrones de clavado

El primer paso consistía en preparar la tablazón del casco. Esta era calafateada por medio de la aplicación de una mezcla especial, con el fin de impermeabilizar las juntas y contribuir a la protección de las maderas. Las chapas se agujereaban manualmente mediante un punzón especial, cuya punta tenía un collar fijo para evitar que el agujero no fuera demasiado grande.³⁵ Una vez hechas las perforaciones, se fijaban a la estructura con tachuelas de cobre (o aleación de cobre), superponiendo sus bordes, de acuerdo a un orden estipulado. En el caso de los barcos de guerra británicos y franceses, la secuencia iniciaba en la popa y a la altura de la línea de flotación. A partir de allí, se cubría el forro de madera con una hilera de planchas, hasta la proa. De este modo, las uniones verticales de las planchas miraban hacia atrás, lo que contribuía a evitar que estas se desprendieran por la acción del agua durante la navegación (esta modalidad de clavado también era beneficiosa por no interferir con la hidrodinámica del barco). La operación se repetía hasta llegar a la quilla. Así, las uniones horizontales quedaban de cara hacia arriba (véase la Fig. 6.13). Otra forma, que aplica a los barcos mercantes británicos, consistía en comenzar desde la intersección de la quilla y el codaste, cubriendo el casco con hileras de planchas desde abajo hacia arriba (Staniforth 1985:28).

La forma de clavado de cada chapa también se definía de antemano. En líneas generales, estas planchas se perforaban perimetralmente (una línea de tachuelas) y en su interior (dos diagonales, que formaban un patrón tipo damero). En el caso de las chapas utilizadas por los franceses, las tachuelas del contorno iban colocadas mediante un espacio de 1 ½ pulgada (ca. 4 cm), mientras que las líneas cruzadas del interior estaban separadas unas 3 pulgadas (ca. 8,1 cm) (Breen y Forsythe 2007:46).

En el Museo Marítimo de Maine (Maine Maritime Museum, Bath, Maine, EE.UU.) existe una máquina que sirvió para perforar chapas de revestimiento, que data de fines del siglo XIX (Fig. 6.14).

³⁵ La desventaja de este sistema es que algunos de los orificios realizados de antemano podían coincidir con la cabeza de los pernos de la estructura. En estos puntos el agua podía ingresar fácilmente (Knight 1973:305).



FIGURA 6.14 – MÁQUINA PARA PERFORAR CHAPAS DE LATÓN.

Prensa de madera y hierro, perteneciente a la colección del Museo Marítimo de Maine. Dimensiones: ca. 130 cm (alto), ca. 155 cm (largo) y ca. 48 cm (profundidad).

Foto: Museo Marítimo de Maine, EE.UU. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Algunos talleres pudieron disponer de aparatos de esta índole, incluso antes de esta fecha, que además de acelerar el proceso habrían permitido obtener agujeros más regulares y uniformemente espaciados. La máquina fue adquirida en la década de 1960 por Huston Dodge, probablemente en la subasta de los contenidos de la bodega Roscoe Bailey / Edgar Hancox, en Bath. Lamentablemente, a la fecha no se cuenta con información sobre su procedencia anterior. El *Bath Daily Times* del 14 de septiembre de 1881 anunció que Samuel Whitehouse, el maestro calafateador del astillero local de William Rogers, había comprado recientemente una máquina para agujerear planchas de latón (*yellow metal*). Mediante esta máquina podían perforarse unas 100 chapas en once minutos. Es posible que el ingenio exhibido actualmente en el Museo corresponda a esta máquina, pero no hay certeza sobre

ello. Cabe destacar que el personal del Museo no tiene ningún tipo de registro sobre la existencia de otra máquina semejante (Nathan R. Lipfert, com. pers. 2015). Por el momento se trata de la única evidencia que disponemos sobre este tipo de aparatos, sin contar que es de origen extra-europeo y no es contemporánea al período aquí considerado.

Idealmente, los barcos debían forrarse con planchas de cobre de una misma fuente. No obstante, debido a la creciente demanda experimentada durante ciertos años, no fue inusual que las chapas empleadas para el revestimiento fueran proporcionadas por varios contratistas (Stanbury 1998:225). En este punto es preciso mencionar además que el aforro de los barcos solía estar sujeto a revisiones periódicas, debido al deterioro que sufrían algunas planchas. Su reemplazo, muchas veces, era realizado en diferentes astilleros (nacionales o extranjeros). En consecuencia, con el transcurso del tiempo, el fondo de las naves solía quedar revestido por chapas de diversa procedencia. La vida media del forro de cobre era de unos cinco años (Boudriot y Berti 1995:260).³⁶ Comparativamente, el doble que el forro de sacrificio y el quíntuple que las pinturas protectoras (Breen y Forsythe 2007:47). Cock expuso el caso del *HMS Dolphin*, cuyo casco fue forrado con cobre en 1764. A lo largo de su circunnavegación de dos años, el fondo de este barco no requirió de ninguna atención, mientras que una nave con forro de sacrificio habría requerido entre dos o tres instancias de calafateo y forrado para mantenerse en similares condiciones de navegabilidad (Cock 2001:453).

Producción de chapas y tachuelas

Chapas

La necesidad de revestir con cobre un número creciente de buques de guerra demandó grandes volúmenes de chapas y tachuelas, así como de pernos y clavos no ferrosos para la estructura. El aforro de los barcos de guerra y comerciales tuvo una gran importancia económica para la industria del cobre en Gran Bretaña, así

³⁶ En una lista de materiales, efectos y pertrechos elaborada en 1805 y 1806 en el arsenal de la Carraca, figura la siguiente especificación para un navío de tres puentes y 130 cañones: duración total del forro de cobre, 7 años armado y 9 años desarmado (Artiñano y de Galdácano 1920:380).

como para los contratistas de la Real Armada (e.g. Raby, Forbes, Collins, Westwood & Williams, y Roe & Co.), que además se ocupaban de abastecer a las otras potencias europeas de la época (Staniforth 1985:25-26; McCarthy 2005:106, 108).

En el caso de las chapas, los datos reportados por Winfield (2005:76) sobre el buque de 50 cañones *Hannibal* son sugerentes: 2.010 planchas de cobre (peso total: 6 toneladas y 12 quintales, equivalente a unos 6.700 kg) y 40,5 quintales de tachuelas (ca. 2.050 kg). Si se considera una cantidad aproximada de 90 tachuelas por libra (véase más abajo), resulta que hacia finales del siglo XVIII un barco de guerra británico de 4to. orden requería unas 400 mil tachuelas, un número elevado si se tiene en cuenta que entre los navíos de línea (1er. a 3er. orden) y las fragatas, la flota británica estaba constituida hacia la primera década de 1800 por más de 250 unidades en servicio (véase Gardiner 2011). Para brindar una idea de la cantidad de chapas y tachuelas que requería un buque de guerra de 1er. orden, durante las reparaciones del *HMS Victory* (1765 – presente) en la década de 1960, se removieron alrededor de 17 toneladas de aforro (Bingeman et al. 2000:226). A modo comparativo, a principios del siglo XIX un navío español de tres puentes (130 cañones) requería 2.128 planchas (peso total: ca. 340 quintales, i.e. 17 toneladas) y ca. 50 quintales de clavos (tachuelas) (Artiñano y de Galdácano 1920:380).

Los métodos de producción de estas chapas fueron dos: forjado y laminado. En el primer caso, se partía de un tocho de cobre o aleación de cobre, que era calentado en un horno abierto y golpeado por medio de martillos mecánicos (martinetes). De este modo se obtenían placas relativamente gruesas, que se apilaban y volvían a martillar, a fin de afinarlas hasta el espesor deseado. Esta operación podía ser realizada en caliente o en frío, aunque en este último caso el producto debía ser recocido. Esta modalidad fue típica hasta principios del siglo XVIII, momento en que empezaron a utilizarse rodillos de laminación. El reemplazo fue paulatino (Samuels 1992:97). De hecho, fuera de Gran Bretaña, los primeros talleres de laminado se montaron recién durante la segunda mitad del 1700.

El caso de España es sugerente. Hacia 1754, este reino estaba obligado a importar latón batido (martillado) y tirado en planchas (laminado) del exterior, debido a la escasez que había en sus territorios, a fin de abastecer a quienes lo trabajaban para diversos usos (Dominguez Vicente 1770:186). El grueso del cobre provino de Suecia y Hungría, hasta que en 1784 abrieron (a manos del Estado) las

minas de Riotinto, en Huelva. En cuanto a las operaciones de manufactura, vale la pena notar que el primer laminador se instaló en Algeciras en 1793 (Rodger 2006:379). En un informe de la Real Armada de principios del siglo siguiente constan las siguientes fábricas de tirado y batido de planchas, que estaban destinadas a los barcos de guerra: 1) Puerto Real y Algeciras, para el Departamento de Cádiz; 2) Alcaráz, para el de Cartagena y 3) Jubia, para el de Ferrol (Artiñano y de Galdácano 1920:390). En Francia, como ya mencionamos, los primeros laminadores para producir chapas de cobre se instalaron en Romilly a partir de 1780. Hasta entonces, las planchas utilizadas eran de cobre batido (Boudriot y Berti 1995:260) o importadas de Gran Bretaña, Suecia y los Países Bajos (Ferreiro 2007:21).

Samuels remarcó la dificultad de identificar estos métodos a partir de un análisis microestructural (Samuels 1992:97,98). Las chapas de cobre estudiadas por MacLeod y Pitrun (1986) dan cuenta de ello. Este trabajo contiene información sobre la composición química y la microestructura de un grupo de muestras de los sitios *Batavia* (1629), *Zeewijk* (1727), *Rapid* (1811) y *HMS Success* (1829). En función de las fechas de los naufragios, en principio es esperable que las planchas sean representativas de diferentes procedimientos de fabricación (martillado y laminado). Pese a ello, las características registradas no muestran variaciones significativas atribuibles a uno u otro método. A nivel cronológico, el menor contenido de inclusiones de óxido de cobre (cuprita) y plomo en el caso de la chapa del *Rapid*, respecto de las muestras de los barcos neerlandeses, puede ser considerado como un indicio del mejoramiento de las prácticas de fundición (véase MacLeod y Pitrun 1986:4-6).³⁷

Hasta fines del siglo XVIII las chapas para el revestimiento de los barcos fueron hechas en cobre sin alear (aunque hubo algunos intentos aislados por utilizar aforro de aleación de cobre). A partir de 1800, con la patente de M. Collins, la Real Armada británica comenzó a emplear chapas de base cobre, con ciertas cantidades de zinc en la aleación (latón). Los tenores de este aleante fueron incrementándose en forma paulatina con el transcurso del tiempo, en la siguiente relación aproximada (Rodríguez Mariscal 2010:130,131):

³⁷ Un antecedente importante es el estudio realizado por Tylecote sobre los restos del aforro de cobre hallados en el velero (*yacht*) del rey Carlos II *Mary*, 1675 (Tylecote 1977:277,278).

- Entre las décadas de 1760 y 1790: uso de cobre refinado, sin alear (Cu 99,8 %).
- A partir de 1800: empleo de una aleación de ocho partes de cobre y una parte de zinc (ca. Cu 89 % y Zn 11 %).
- Entre los años 1800 y 1817: incremento del porcentaje de zinc utilizado, que resulta en una aleación de 180 partes de cobre y 80 partes de zinc (ca. Cu 69 % y Zn 31 %).
- Entre 1817 y 1832: uso de una aleación de cobre 80 % y zinc 20 %.
- A partir de 1832: en este año George Muntz patentó una aleación de ca. cobre 60 % y zinc 40 %, denominada *yellow metal* (metal amarillo, más tarde conocida como metal Muntz), cuyo uso se generalizó a partir de la década siguiente.³⁸

Este esquema sucinto evidencia parte de los cambios en torno a los materiales empleados para la manufactura de las chapas (véase Jones, T. 2004). Las propuestas fueron diversas. Mushet, por ejemplo, hizo hincapié en las ventajas de de alear el cobre con pequeñas concentraciones de otros elementos; por cada 100 libras de cobre: 2 onzas de zinc (0,125 %) o 4 onzas de antimonio (0,25 %) o 8 onzas de arsénico (0,5 %) o 2 onzas de estaño (0,125 %) (Mushet 1825). Otros prescindieron del cobre, como en el caso de la patente de Pope sobre chapas de aleación de estaño y zinc, o estaño, plomo y zinc (Pope 1825). Estas eran consideradas igualmente efectivas y más baratas que las de aleación de cobre, aunque no tuvieron efecto en las armadas. Más abajo listaremos los resultados del análisis de composición química de varios naufragios del período anterior.

En cuanto al proceso de manufactura, las aleaciones de cobre-zinc referidas eran trabajadas en frío, con sucesivas instancias de recocido. El metal Muntz tenía una ventaja adicional con respecto a otros latones, ya que podía ser laminado en

³⁸ Esta aleación era más barata y resistente al desgaste que el cobre. Por ello, pronto se convirtió en una solución técnica de gran aceptación en el mercado, y su uso se extendió a los elementos de sujeción estructurales. Para mayor información, véase el capítulo 9 de McCarthy (2005). La proporción de cobre y zinc, en la práctica, era variable. Debido a la volatilidad del zinc, era muy difícil obtener una formulación precisa (McAllister 2012:41).

caliente. Debido a ello, la producción de chapas de esta aleación demandaba menos energía y tiempo (McCarthy 2005:116).

Para el caso del cobre sin alear, es preciso destacar que la efectividad del material en el medio marino dependía en parte de las impurezas presentes. En aquel entonces se sabía que existían cobres “buenos” y “malos” para su empleo como revestimiento de forro. El hierro, por ejemplo, tornaba al cobre menos efectivo como inhibidor del crecimiento de los organismos marinos sobre la superficie (Stanbury 1998:225). No obstante, en líneas generales, aún era tolerable cierto grado de impurezas. La seria preocupación por el refinamiento del cobre devino a partir de las aplicaciones de este metal en la industria eléctrica, hacia finales del siglo XIX (Mackey y Wraith 2004).

Haremos una breve digresión en este punto. Entre 1824 y 1825, el químico inglés Sir Humphry Davy (1778-1829) presentó ante la Real Sociedad de Londres los resultados de sus estudios experimentales sobre el deterioro corrosivo que sufrían las planchas de cobre empleadas en el revestimiento del casco de los barcos de guerra y comerciales. Su investigación, realizada junto con Michael Faraday y por requerimiento de la Real Armada Británica, arrojó luz por primera vez sobre los procesos electroquímicos que afectan al cobre, sus aleaciones y otros metales en el medio marítimo. Las conclusiones obtenidas le permitieron proponer un método para extender la vida útil de las chapas, que actualmente se conoce como protección catódica (véase Davy 1824a, 1824b, 1825). En este sentido, podría decirse que las experiencias dentro del ámbito naval anticiparon y promovieron el desarrollo de estudios sobre los mecanismos de corrosión electroquímica, que posibilitaron aplicar medios más eficaces para amortiguar sus efectos nocivos. Tres décadas antes, el químico francés Joseph L. Proust (1754-1826) había realizado varios experimentos para determinar las razones del deterioro de las chapas de cobre usadas en los barcos españoles. Proust residió muchos años en España y fue profesor del Real Colegio de Artillería de Segovia. Las ideas y resultados obtenidos fueron publicados en el tomo 2 de los *Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia*. Un breve pasaje de la obra ilustra el peso de su labor:

“Estos resultados demuestran que algunos metales muy agrios, como el arsénico, el cobalto, &c. no se oponen sensiblemente á la

ductilidad de los cobres; particularmente si no pasan de un cuarto ó medio por ciento, como son los que acabo de exâminar; que la facilidad de aguantar la operacion del laminage [laminado], no es de ningun modo medida cierta de la pureza de los cobres; y por último, que la análisis química no puede menos de descubrir la causa de la pronta destruccion de ciertos cobres que se emplean para forrar navios” (Proust 1795:15,16).

Los minerales y métodos de obtención del cobre empleados por las diferentes potencias navales de la época presentaban algunas diferencias entre sí. Por ello, el grado de refinamiento (o pureza) que tenía este metal, con el que se hicieron las chapas de revestimiento hasta comienzos del siglo XIX, era desigual, según la procedencia. Por ello, la composición química de las chapas obtenidas de un sitio arqueológico constituye una fuente de información que puede contribuir al análisis de la nacionalidad del barco. Por caso, la composición de las chapas de cobre pertenecientes a los barcos franceses *Fougueux* y *Bucentaure* (véanse los anexos 8 y 9; en especial las referencias que allí se exponen sobre los trabajos técnicos conducidos por Bethencourt) es consistente con la nacionalidad de ambos navíos, diferenciándose de aquella típica de los revestimientos ingleses y españoles.

Tachuelas

Frente a la cantidad de información histórica disponible sobre la producción y, sobre todo, el uso de chapas de revestimiento para barcos europeos, así como de la manufactura de clavos forjados y cortados a máquina —que por lo general no es exclusiva del ámbito naval—, se cuenta relativamente con pocas referencias que hagan alusión específica y detallada al proceso de manufactura de las tachuelas empleadas para el revestimiento de forro.³⁹

³⁹ Existen algunos casos del empleo de este tipo de tachuelas en época previa a la introducción del forro de cobre. Por caso, entre los restos de la nave mercante (*jacht*) *Hoorn* (1615), perteneciente a la expedición holandesa de Jacob Le Maire y Willem C. Schouten —que realizó la sexta circunnavegación al globo— se encontraron varias tachuelas, posiblemente utilizadas para sujetar chapas metálicas o tablas de madera muy delgadas (Murray et al. 2008). El análisis de dos ejemplares indicó que ambas fueron realizadas con cobre sin alear (Marconetto et al. 2007).

Las planchas se fijaron desde un principio con tachuelas de cobre (o aleación de cobre). El hierro fue utilizado excepcionalmente en algunas planchas del *HMS Alarm* y en la goleta francesa *La Gorée*, adonde probaron su ineficacia (Cock 2001:449,458). Las tachuelas con cabeza avellanada de aleación de cobre, estaño y zinc (*mixed metal*) probaron ser superiores y reemplazaron a las del tipo común, de cobre sin alear (McCarthy 2005:103). Este tipo de piezas, como veremos, fue registrado en varios naufragios de la época.

Augustin G. L. Lentin, en su libro sobre la producción del cobre en Anglesey, relató de forma sucinta cómo se fabricaban las tachuelas para el revestimiento de los barcos en Holywell (Flint, Gales). Según este autor, se utilizaba una aleación de cobre y zinc, con agregado de estaño, que se colaba en moldes de ceniza y arcilla. Luego, las cabezas de las piezas se torneaban una por una, actividad que demandaba el trabajo de numerosos operarios (Lentin 1800:125). En la obra de Steel (1805:119) también se describe en pocas palabras la forma de fabricación por colada en molde y las características de las piezas así obtenidas. Otros, en cambio, bregaban por el uso de tachuelas de cobre sin alear. En una publicidad de 1806 sobre clavos para las planchas de forro, Samuel Guppy hizo hincapié en los perjuicios ocasionados por la fragilidad de los clavos que se usaban corrientemente (de aleación de cobre), cualidad que atribuía precisamente a que estaban elaborados en molde (Jones, T. 2004:113).⁴⁰ Es probable que en Gran Bretaña, como sucedía en el caso de los pernos, la producción de tachuelas estuviera a cargo de contratistas de la Armada.⁴¹

Sobre la base de lo anterior, es posible afirmar que las tachuelas se producían usualmente de forma manual, en cobre o aleación de cobre, por fundición y colada en molde.

Estudios metalográficos posteriores indicaron que una de las tachuelas fue manufacturada por forjado, probablemente a partir de alambre. Asimismo, revelaron una estructura de recristalización que podría vincularse a una prolongada exposición de la pieza a las altas temperaturas generadas durante el incendio que resultó en la pérdida del barco (De Rosa, Ciarlo, Svoboda y Di Claudio 2009). Indicios semejantes fueron registrados en otros restos metálicos, como es el caso de las chorreaduras de plomo (Marconetto et al. 2007).

⁴⁰ Es probable que la rotura del vástago de las tachuelas —a la altura de la cabeza— durante su extracción se debiera, al menos en parte importante, a los efectos del deterioro corrosivo sufrido por el uso (e.g. en el caso de las piezas de cobre-zinc, producto de la descincificación).

⁴¹ En el caso de Francia, las tachuelas se realizaban en las forjas de los astilleros (Boudriot 1993, citado en Breen y Forsythe 2007:46).

Los restos de naufragios constituyen una fuente relevante para profundizar en el conocimiento sobre el proceso de producción. En particular, son de interés los datos disponibles sobre la composición química de un conjunto de tachuelas recuperadas de barcos que cubren un rango temporal entre 1780 y 1820. En líneas generales, podemos apreciar una variedad considerable en las aleaciones base cobre utilizadas por las potencias marítimas de la época.

Las tachuelas reportadas por Samuels fueron producidas mayormente en bronce, por medio de fundición y colada. Estas muestras exhiben una amplia variabilidad en cuanto a los elementos mayoritarios, tanto al interior de un sitio (e.g. el caso del cargamento del *Lively*, un cúter francés capturado por los británicos que se fue a pique en 1810) como entre diferentes naufragios. Ello, según el autor, podía estar relacionado con un control escaso de la composición química al interior de los talleres donde se fabricaban, así como con las discrepancias de opinión de los constructores navales o productores de elementos de sujeción acerca de la composición óptima de las piezas (Samuels 1992:92).⁴² Por otro lado, MacLeod analizó una colección de artefactos del sitio *HMS Sirius* (1790), barco insignia de la Primera Flota (*First Fleet*) que condujo a los primeros pobladores europeos a Australia en 1788 y naufragó en un arrecife de la Isla Norfolk, al E de Australia (véase Stanbury 1994). El conjunto de objetos de cobre, latón y bronce incluye clavos, pernos, chapas de aforro y otros accesorios. En particular, las tachuelas analizadas por medio de AAS muestran leves discrepancias en la concentración de los dos elementos principales, i.e. cobre y estaño (MacLeod, 1994: 273, tablas 1 y 2). Las características microestructurales y de la composición química de una tachuela de bronce de este último sitio fue reportada previamente por Samuels (1983:75-77, tabla 3). En su investigación sobre los materiales asociados al *HMAV Bounty* (1790) y al campamento de los amotinados en la Isla Pitcairn, en el Pacífico Sur, Viduka y Ness analizaron varios artefactos de aleación de cobre por medio de ICP-MS. Entre estos, las tachuelas constituyen la categoría de artefacto más numerosa en el sitio. Estas fueron manufacturadas en bronce, por medio de moldeo. El estaño es el único elemento de la aleación que se encuentra en una proporción mayor al 1 %. Según los autores, la variación en las relaciones de

⁴² Las variaciones registradas no habrían tenido implicaciones serias con respecto al comportamiento frente a la corrosión; en definitiva, todos los ejemplares analizados perduraron largo tiempo en el ambiente al que estuvieron expuestos durante su uso (Samuels 1992: 92).

cobre-estaño y estaño-arsénico de las muestras puede relacionarse con el uso de minerales de distinta procedencia, el nivel técnico del momento y los estándares de producción (Viduka y Ness 2004:163, tabla 2). En el caso del navío español *Triunfante* (1795), estudiamos los elementos de sujeción del forro de sacrificio y aforro de cobre (el barco tenía doble revestimiento) por medio de LM, SEM-EDS y AAS. Ambos tipos de piezas fueron hechas en moldes, con una aleación base cobre, aunque presentan diferencias significativas en su composición química (véase el anexo 7). Al igual que en el caso de los otros naufragios mencionados, esta variabilidad puede estar relacionada con instancias de recorrido del barco durante sus últimos años de servicio.

En síntesis, la variabilidad registrada al interior de un único sitio podría estar asociada a uno o varios de los siguientes factores: 1) presencia de tachuelas de distinta procedencia, consecuencia de arreglos; 2) control flexible o irregular de la composición en los talleres; 3) opiniones desiguales con respecto al material más adecuado y 4) en el caso de los elementos traza, uso de minerales de diferentes yacimientos. Las variables 2 y 3 están principalmente relacionadas con los estándares de producción. Teniendo en cuenta que, con una excepción, los estudios fueron llevados a cabo sobre tachuelas que pertenecían al revestimiento de los barcos, la variabilidad en la composición química no se relaciona necesariamente con la calidad de la manufactura. En este sentido, cobran especial interés los estudios realizados a partir del análisis de piezas llevadas a bordo como parte del cargamento de los barcos.

En el caso del sitio Deltebre I (1813), analizamos un conjunto de tachuelas que, en su mayoría, es probable que se llevaran de repuesto. Gracias a esta condición fue posible abordar el tema de la fábrica de las piezas con un singular grado de detalle. En tal sentido, puede considerarse como un aporte novedoso al conocimiento de la manufactura de ingentes cantidades de piezas por medios típicamente artesanales, dentro de un contexto de creciente industrialización.⁴³ Los análisis conducidos sobre una muestra de 25 unidades permitieron determinar que las piezas transportadas en el barco fueron realizadas en bronce, por fundición y colada. Los elementos mayoritarios (>1 %) no presentan significativas diferencias

⁴³ Existen otras investigaciones arqueométricas recientes abocadas al análisis de diferentes aspectos relativos a la producción en masa de objetos (e.g. Birch et al. 2014; Martín-Torres et al. 2014).

en su concentración entre las muestras, lo que sugiere que se produjeron en el mismo establecimiento. Teniendo esto en cuenta, las ligeras variaciones de composición registradas entre las tachuelas de semejante morfología se atribuyeron a la existencia de varios lotes de producción. A diferencia de lo que sugieren los análisis realizados sobre tachuelas de otros naufragios, la regularidad que muestra el conjunto del sitio Deltebre I (1813) en cuanto a la composición química y el método de manufactura, denota que las piezas estuvieron sujetas a cierto control de calidad durante su producción (véase el anexo 10).

El empleo generalizado de las tachuelas fabricadas mediante moldeo desde al menos el siglo XVIII hasta la segunda mitad del siglo XIX, puede considerarse como prueba de la efectividad del método y de los productos obtenidos. Lo anterior cobra notoriedad si prestamos atención a las innovaciones propuestas durante este tiempo (e.g. el uso de rodillos) y la paulatina incorporación de maquinaria en el proceso de producción de clavazón. Pese a estas “mejoras”, se optó por el tipo de tachuelas utilizado tradicionalmente.

Es preciso mencionar que, además de este tipo de tachuelas, existe evidencia del uso de ejemplares de cobre realizados a partir de alambre, por medio de un proceso de laminado/forjado. Samuels llamó la atención sobre la escasez de piezas de este tipo, ya que los medios materiales para fabricarlas estaban disponibles en aquellos años. Y también destacó que, a nivel técnico, ambas soluciones eran aceptables (Samuels 1992:94,95). Es probable que la razón de por qué no tuvieron un uso más extensivo sea de orden económico. Al respecto, el caso de las tachuelas de cobre comercializadas por Guppy, a quien mencionamos más arriba, es sugerente. Técnicamente, el dentado que tenían estas piezas evitaría que se desprendieran de la madera a causa del uso, hecho que les conferiría cierta ventaja sobre las tachuelas lisas (véase Jones, T. 2004:111-113). Unas pocas piezas de este tipo fueron halladas en el sitio Deltebre I (1813). Pero aun cuando fueran más efectivas, tal como reconoció el propio fabricante de Bristol, su coste duplicaba al de las otras tachuelas.

El cobre y sus aleaciones

Desde el último tercio del siglo XVIII y hasta comienzos del siglo XIX, las chapas con que las potencias marítimas forraron sus barcos fueron hechas con cobre sin alea. Se diferenciaban entre sí, principalmente, de acuerdo a la pureza del cobre utilizado. En líneas generales, esta dependía del propio mineral y del proceso de obtención del metal (en especial del grado de refinamiento alcanzado). De allí que, sobre la base de los datos de composición química y de muestras de referencia, i.e. planchas analizadas de nacionalidad conocida, en ocasiones sea posible contribuir a identificar los restos de un sitio indeterminado.

A partir de las primeras décadas de la siguiente centuria se produjeron numerosas innovaciones con relación a los materiales empleados, que tuvieron por fin minimizar los costos de producción y, a la vez, aumentar la eficacia y vida útil de los elementos. Muchos de los cambios propuestos han quedado plasmados en los registros de patente de la época, e.g. la aleación registrada por Muntz en 1832 (véase Jones, T. 2004). En este caso, los análisis de composición química pueden aportar valiosa información para la adscripción temporal de los restos de un naufragio (e.g. Lorusso et al. 2003; Gainsford 2004; McAllister 2012).⁴⁴

Existen varios trabajos que reportan los resultados obtenidos del análisis de naufragios que cubren el período comprendido entre la introducción del aforro de cobre y los años en que se comenzó a experimentar con diversas aleaciones. Pese a su relevancia para la actual investigación, la mayoría de estos estudios se han concentrado en el análisis de uno o pocos sitios y cuentan con escasas referencias a nivel comparativo. Aquí abordaremos el tema analizando de manera conjunta y diacrónica naufragios de diferente procedencia, de modo integral con la

⁴⁴ Tradicionalmente, se sostuvo que los latones con un porcentaje de plomo mayor al 28 % no podían ser anteriores al siglo XIX. Esto se asoció a una limitante propia del proceso de manufactura utilizado hasta aquel entonces, que consistía en combinar el cobre con la calamina (mineral de zinc). Recién a partir del segundo cuarto de aquella centuria, el proceso de fundición del cobre con el zinc en estado metálico reemplazó al anterior, lo que posibilitó obtener latones con mayores porcentajes de zinc. El contenido de este elemento, por ende, fue considerado como un claro indicador cronológico. No obstante, al menos en Gran Bretaña, los medios para obtener zinc metálico estaban disponibles desde mediados del 1700 (Cohen et al. 2015:192). Por otro lado, Welter demostró que históricamente fue posible obtener latones con porcentajes de zinc entre 30 y 40 %. Aunque se trata de casos excepcionales, ponen de manifiesto que un objeto no debe ser considerado moderno por el simple hecho de contener un porcentaje de zinc mayor al 28 % (véase Welter 2003).

información documental. La tesis de T. Jones (2004) constituye un antecedente notable de esta perspectiva. El reciente proyecto de investigación radicado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires “La innovación tecnológica asociada a los revestimientos metálicos de los barcos de madera (Europa Occidental y contextos de ultramar, 1764-1850)”, dirigido por el Ing. H. De Rosa, también se orienta en este sentido.

A fin de sistematizar los datos disponibles, a continuación presentamos los datos obtenidos por nosotros y otros investigadores en la materia. Contamos con que esta información pueda ser de utilidad no sólo para el análisis de las innovaciones en torno a los revestimientos, sino como muestra de referencia para futuros estudios que contemplen el análisis de composición química de chapas halladas en naufragios históricos. Tendremos únicamente en consideración aquellos naufragios fehacientemente identificados mediante el estudio arqueológico de sus restos. Mayor información sobre el análisis de chapas y tachuelas de revestimiento recuperadas de sitios adscritos al siglo XIX, aún sin datos específicos, puede consultarse en otros trabajos (e.g. De Rosa y Ciarlo 2007; De Rosa et al. 2008, 2015a; Jones 2004; Lorusso et al. 2003).

Debido a la diversidad de técnicas instrumentales empleadas y teniendo en cuenta además las diferencias que existen con relación a los elementos registrados en cada caso, optamos por reproducir los datos de cada sitio en tablas separadas. Al pie consignamos los datos referentes al análisis realizado y la fuente bibliográfica de donde se obtuvo la información. Los valores están expresados hasta la tercera cifra de la parte decimal (en algunos casos, suprimimos la cuarta cifra decimal y redondeamos a la milésima). Mencionamos aquellos estudios realizados mediante EDS, pero deben considerarse con respecto a los elementos mayoritarios, y como una primera aproximación, ya que el propio error de la técnica no permite realizar ninguna apreciación confiable con respecto a los elementos por debajo del 0,5 % (i.e. este análisis no resulta significativo para el caso de los elementos traza). La información sobre los naufragios *HMS Colossus* (1798), *HMS Primrose* (1809), *HMS Amethyst* (1811) y *HMS Pomone* (1805), fue gentilmente suministrada por el Dr. Peter Northover, a quien le estoy muy agradecido.

Con relación a los barcos británicos, contamos con información sobre los siguientes casos (ordenados cronológicamente):

◆ *HMS Sirius (1790), ex Berwick*

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>As</i>	<i>Sb</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>Ag</i>
99,4	0,003	0,005	0,175	0,050	0,241	0,030	0,004	0,019	0,018
99,4	0,002	0,002	0,171	0,053	0,255	0,030	0,008	0,019	0,067
98,9	0,008	0,003	0,010	0,113	0,826	0,019	0,010	0,035	0,005

Análisis: AAS.

Referencias: MacLeod (1994:268) y Stanbury (1994:103).

Nota: las diferencias de composición registradas entre las dos primeras muestras y la tercera (en particular el contenido de As) estarían relacionadas o bien con alguno de los recorridos que se le realizaron al barco o bien con el uso simultáneo de planchas provistas por diferentes contratistas (Stanbury 1998:225).

◆ *HMAV Bounty (1790)*

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>As</i>	<i>Sb</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>Ag</i>
96,9	<0,005	0,001	0,115	0,095	0,534	0,023	<0,010	0,022	0,015
70,2	<0,005	0,002	0,150	0,080	0,363	0,013	5,190	0,015	0,020
88,6	<0,005	<0,005	0,069	0,131	0,882	0,021	<0,010	0,025	0,025
74,3	<0,005	0,091	0,283	0,039	0,620	0,017	0,137	0,018	0,009
78,7	0,015	0,029	0,107	0,078	0,466	<0,020	0,304	0,019	0,003

Análisis: ICP-MS.

Referencias: Viduka y Ness (2004: tabla 1).

Nota: los valores de cobre por debajo del 90 % deben estar subestimados (la suma de los porcentajes parciales no da cuenta de la composición global). Por otro lado, la última muestra procede del campamento de los amotinados.

◆ *HMS Colossus (1798)*

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>As</i>	<i>Sb</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>Ag</i>
99,1	0,01	0,00	0,09	0,04	0,55	0,03	0,00	0,03	0,08
99,4	0,00	0,01	0,11	0,03	0,26	0,02	0,01	0,09	0,02
99,2	0,00	0,07	0,03	s/d	0,48	s/d	0,00	0,02	s/d

Fuente: Northover (2016, Ms.).

◆ *HMS Primrose* (1809)

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>As</i>	<i>Sb</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>Ag</i>
99,1	0,02	0,00	0,09	0,03	0,43	0,07	0,00	0,16	0,05

Fuente: Northover (2016, Ms.).

Nota: el barco fue construido en 1807.

◆ *HMS Amethyst* (1811)

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>As</i>	<i>Sb</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>Ag</i>
99,2	0,00	0,01	0,01	0,14	0,38	0,04	0,00	0,03	0,08
99,2	0,00	0,00	0,01	0,04	0,42	0,02	0,00	0,06	0,08
99,3	0,00	0,00	0,02	0,07	0,37	0,02	0,01	0,03	0,08

Fuente: Northover (2016, Ms.).

Nota: el barco fue construido en 1799; el último registro de forrado es del año 1809.

◆ *HMS Pomone* (1811)

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>As</i>	<i>Sb</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>Ag</i>
99,2	0,00	0,00	0,04	0,13	0,46	0,01	0,01	0,03	0,08

Fuente: Northover (2016, Ms.).

Nota: el barco fue construido en 1805; el último registro de forrado es de ese año.

◆ Sitio Deltebre I (1813)

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>As</i>	<i>Sb</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>Ag</i>
99,3	0,009	<0,003	0,007	0,201	0,363	0,018	0,004	0,003	0,085

Análisis: OES (equipo Spectro MAXx LMF05) y AAS (equipo Varian Spectr AA5).

Referencias: Ciarlo 2015b (véase el anexo 10).

◆ *HMS Success* (1829)

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>As</i>
99,4	0,220	0,016	0,090	0,060

Análisis: no especificado (la chapa parece haber sido analizada mediante EPMA).

Referencias: MacLeod y Pitrun (1986: tabla 2).

En cuanto a los barcos franceses, contamos con información sobre los siguientes ejemplares:

◆ *Fougueux* (1805)

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>As</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>P</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>Al</i>
99,8	0,009	0,001	0,025	0,063	0,004	0,047	0,004	0,011	0,004	<0,002

Análisis: OES (equipo Spectrolab Jr.).

Referencias: Bethencourt (2010).

◆ *Bucentaure* (1805)

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>As</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>P</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>Al</i>
99,8	0,004	0,001	0,013	0,104	<0,001	0,012	0,011	0,006	0,008	<0,002

Análisis: OES (equipo Spectrolab Jr.).

Referencias: Bethencourt (2010).

Y con relación a los naufragios españoles de interés, podemos mencionar los siguientes casos:

◆ *Triunfante* (1795)

Bethencourt (2008/9, 2010) reportó la siguiente composición para una de las planchas del sitio: Cu 99,4 %, Pb 0,142 % y As 0,421 % (posiblemente del Arsenal de Cartagena). El reciente análisis por medio de EDS de una de las chapas de este sitio indicó, en función de la composición de la matriz y de las inclusiones ricas en Pb y As, que fue hecha con un material de similares características (véase el anexo 7).

◆ *Magdalena* (1810)

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>As</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>P</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>Al</i>
99,4	0,006	0,002	0,315	0,234	<0,001	0,028	0,004	0,009	0,001	<0,002

Análisis: OES (equipo Spectrolab Jr.).

Referencias: Bethencourt (2010).

Bethencourt también analizó una muestra del aforro de la fragata española hallada en el arsenal de la Carraca (véase la Fig. 6.12). La pieza en cuestión posee una composición química similar a la del barco anterior. Por otro lado, este investigador también estudió una chapa de cobre perteneciente a una fragata de origen y fecha indeterminados, que forma parte de la colección del Museo Naval de San Fernando. En este caso, el material es cobre 99,1 % con un tenor de arsénico del 0,87 % (Berta Gasca Gimenez, com. pers. 2014). Nótese la similitud entre la composición química de esta chapa, en particular con respecto al contenido de arsénico, y la que presenta una de las muestras del *HMS Sirius* (1790).

Por otro lado, con respecto a las tachuelas para fijar las planchas, encontramos un panorama diferente. Antes mencionamos el caso del *Deltebre I* (1813). Los resultados del análisis de composición química de las tachuelas de este naufragio están detallados en el anexo 10. A continuación expondremos la información disponible sobre otros sitios arqueológicos de interés. Las consideraciones hechas para el caso de las planchas con respecto a la composición química son igualmente válidas para las tachuelas. Aquí nos concentraremos en aquellos barcos que han

sido identificados, aunque también existen algunos trabajos que contienen resultados del análisis de piezas procedentes de sitios indeterminados (e.g. De Rosa y Ciarlo 2007; De Rosa et al. 2015a; Lorusso et al. 2003).

En primer lugar mencionamos los ejemplares británicos, a saber:

◆ *HMS Sirius (1790), ex Berwick*

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>As</i>	<i>Sb</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>Ag</i>
91,1	7,690	0,011	0,052	0,224	0,639	0,022	0,017	0,085	0,068

Análisis: AAS.

Referencias: MacLeod (1994:268) y Stanbury (1994:103).

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>As</i>	<i>Ni</i>	<i>Ag</i>	<i>P</i>
Resto	8,800	traza	traza	0,900	traza	Traza	0,500

Análisis: no especificado (los valores son aproximados).

Referencias: Samuels (1983: tabla 3).

◆ *HMAV Bounty (1790)*

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>As</i>	<i>Sb</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>Ag</i>
88,9	8,210	0,456	0,475	0,093	0,640	0,033	0,349	0,030	0,070
91,8	0,102	0,450	0,440	0,007	<0,150	<0,005	0,690	0,006	<0,005
91,9	0,123	0,140	0,338	0,005	0,146	0,001	0,463	0,028	0,013
90,6	5,130	0,170	0,366	0,085	0,391	0,039	1,200	0,027	0,025
90,6	3,336	0,077	0,321	0,086	0,316	0,028	<0,010	0,029	0,027
92,9	2,680	0,187	0,380	0,042	0,486	0,025	<0,010	0,026	0,021
90,7	4,956	0,813	0,419	0,061	0,124	0,039	0,111	0,031	0,017

Análisis: ICP-MS.

Referencias: Viduka y Ness (2004: tabla 2).

Sobre los naufragios franceses, podemos mencionar los siguientes casos:

◆ *Lively* (1829), ex *Abeille* (francés)

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>As</i>
59,5	15,900	1,600	0,500	s/d	s/d
57,6	11,900	1,500	0,200	s/d	s/d
87,1	8,500	3,000	0,800	0,080	0,010

Análisis: no especificado.

Referencias: MacLeod (1987, citado en Samuels 1992: tabla 3).

◆ *James Matthews* (1841)

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>As</i>	<i>Sb</i>	<i>Ni</i>	<i>Ag</i>
98,4	0,050	0,004	0,100	0,020	0,300	s/d	s/d	s/d
98,0	0,070	0,002	0,100	0,300	0,300	s/d	s/d	s/d
90,7	3,600	0,040	0,600	0,800	1,400	0,140	2,300	0,240

Análisis: no especificado.

Referencias: MacLeod (1988, citado en Samuels 1992: tabla 3).

Los barcos de procedencia española para los que tenemos datos sobre las tachuelas son los que siguen:

◆ *Triunfante* (1795)

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>As</i>	<i>Sb</i>	<i>Fe</i>
Resto	10,500	4,200	7,920	0,030	0,185	0,014	0,332

Análisis: AAS (equipo Varian Spectr AA5).

Referencias: Ciarlo 2015b (véase el anexo 7).

A continuación mencionamos otros casos que, pese a no pertenecer a las potencias marítimas antes consideradas, pueden servir como referencia comparativa a la hora de analizar la tecnología de producción de chapas y tachuelas.

◆ *Zeewijk* (1727), barco holandés

Artefacto	Cu	Sn	Zn	Pb	As	Sb	Fe
Chapa	99,3	0,009	0,002	0,635	0,002	0,027	0,001

Análisis: no especificado (la chapa parece haber sido analizada mediante EPMA).

Referencias: MacLeod y Pitrun (1986: tabla 2).

◆ *Rapid* (1811), barco norteamericano

Artefacto	Cu	Sn	Zn	Pb	Bi	As	Sb
Chapa	99,5	0,220	0,010	0,170	s/d	s/d	0,100
Tachuela	89,1	8,500	3,500	4,000	0,100	0,010	s/d
Tachuela	84,4	5,500	4,800	3,800	0,030	0,300	s/d
Tachuela	90,3	7,500	0,020	0,800	0,200	0,040	s/d

Análisis: no especificado (la chapa parece haber sido analizada mediante EPMA).

Referencias: MacLeod y Pitrun (1986: tabla 2) y MacLeod (1988, citado en Samuels 1992: tabla 3).

Hasta donde sabemos, todas las planchas de revestimiento halladas en naufragios de procedencia europea del último cuarto del siglo XVIII y la primera década del siglo XIX, son de cobre. Ello es consistente con las referencias documentales que dan cuenta del uso de aforro metálico en los barcos de guerra. Con relación a las tachuelas, en su mayoría fueron fabricadas en aleación de cobre por medio de un proceso de fundición y colada. La composición química de las piezas analizadas es muy variable, aunque predominan las piezas de bronce con cierto contenido de zinc y plomo.

Craddock y Hook (2012) realizaron recientemente un estudio de caracterización de lingotes de cobre y estaño procedentes de naufragios del siglo XVIII y principios del siglo XIX (entre otros) pertenecientes a la Compañía Británica de las Indias Orientales (East India Company, –EIC–). Las piezas en cuestión fueron analizadas por medio de AAS (en algunos casos se utilizó ICP-AES). Este singular trabajo reviste interés para analizar la posible procedencia de algunas de las chapas, pernos y

clavos, en función de su composición química, en particular de ciertos elementos minoritarios. Al respecto, los elevados contenidos de bismuto y arsénico que muestran los lingotes de cobre rectangulares y planos (*battery plate ingots*) hallados en los sitios *EIC Albion* (1765), *EIC Admiral Gardner* (1809) y *EIC Carnbrae Castle* (1829), son consistentes con los valores registrados en muchas de las piezas de cobre y aleación de cobre mencionadas más arriba. El tenor de plomo también puede ser un indicador a tener en cuenta, dadas las diferencias de concentración que suele presentar, sobre todo cuando se comparan varios objetos de cobre británicos y franceses de principios del siglo XIX (véase Craddock y Hook 2012: tabla 6; Ciarlo 2015: tablas 2 y 3).



Capítulo 7

EI EQUIPAMIENTO NÁUTICO

Aquí nos ocuparemos del equipamiento náutico de los barcos de madera, aquellos elementos del casco y accesorios mediante los que estos podían ser fondeados, mantenidos a flote y maniobrados durante la navegación. Nos referiremos en particular a las anclas, las bombas de carena y el timón, componentes que forman parte de los sistemas de fondeo, achique y gobierno, respectivamente.

Las anclas permitían aferrar un barco al fondo y, por ello, constituían el elemento de seguridad por antonomasia de las naves. Asimismo, eran empleadas para realizar diversos tipos de maniobras, entre ellas zafar de una varadura. En este capítulo versaremos principalmente de las anclas de hierro con cepo de madera, que fueron utilizadas por todas las potencias marítimas de Europa durante la época de la vela. Los barcos llevaban varias anclas a bordo, de las que disponían según las circunstancias. Estas piezas, al igual que en el caso de los cañones, eran producidas por maestros artesanos, en establecimientos especializados. Durante el siglo XVIII, el diseño general de las anclas de cada país sufrió leves modificaciones, en especial en el caso de Inglaterra. Las mayores diferencias se aprecian al comparar los ejemplares utilizados por las armadas europeas. En las primeras décadas de la

siguiente centuria, se introdujeron nuevos modelos, así como el uso del cable de cadena y el cepo metálico; estos cambios estuvieron acompañados por innovaciones en la producción del hierro utilizado, que fue de superior calidad. Esto último fue crucial, dadas las sollicitaciones mecánicas a las que estaba expuesto el material de estas piezas durante su empleo. Entre otros aspectos, el estudio de las anclas de procedencia arqueológica —consideramos tanto aquellas que se encuentran aisladas como las que forman parte de los restos de un pecio, para las que se cuenta con información contextual— reviste especial interés, dado que constituyen una vía de acceso al conocimiento de la tecnología metalúrgica de la época. En este sentido, los estudios de caracterización de materiales han probado ser de suma utilidad, dado que permiten determinar una serie de aspectos significativos con relación a la calidad del material y los métodos empleados para su fabricación (e.g. Samuels 1992; Svoboda et al. 2005; Deacon 2007; Reyes et al. 2010; Ciarlo et al. 2011).

Las bombas de carena (o sentina) eran otro de los elementos fundamentales de la operatividad de un barco de madera. Normalmente, era necesario extraer (achicar) el agua que solía ingresar y acumularse en la sentina debido a las filtraciones del casco, situación que se agravaba seriamente durante una tormenta o combate, si se producían rumbos en el casco. Por tales motivos, estas máquinas eran cruciales para mantener a flote los barcos de guerra. Existían básicamente dos clases distintas, a saber: aspirantes y de cadena (o rosario). En la época de nuestro interés, las bombas de sentina sufrieron varios cambios importantes; por caso, los caños de madera fueron paulatinamente reemplazados por caños de cobre y aleación de cobre, que eran más resistentes y eficientes. Muchas de estas modificaciones están registradas en documentos tales como las patentes, mientras que otras pueden analizarse a partir de los hallazgos arqueológicos. En este último caso, debido al deterioro que sufren los barcos luego del naufragio, suelen preservarse únicamente las porciones inferiores de estos mecanismos.

En relación al gobierno de los barcos, el dispositivo central era el timón. Un barco sin timón quedaba a la deriva, sujeto a las vicisitudes del tiempo y a la inclemencia del enemigo; de allí la vital importancia que tenía este mecanismo. En los bajeles de los que nos ocupamos en este estudio, el mecanismo estaba formado por el conjunto rueda-caña-pala. Este sistema no experimentó cambios

sustanciales en cuanto al diseño durante el siglo XVIII. No obstante, sí se incorporaron algunas innovaciones, que en parte estuvieron relacionadas con la implementación del revestimiento de forro metálico (véase el capítulo 6). Hasta la fecha, el registro arqueológico de este tipo de elementos es relativamente escaso, únicamente destacan en número los goznes de la pala del timón.

Este capítulo está estructurado en tres secciones, cada una de las cuales dedicamos a uno de los sistemas antes mencionados. Aunamos la información histórica y arqueológica de referencia y aquella obtenida de los estudios realizados por nosotros.

El apartado sobre las anclas consta de las siguientes partes: 1) generalidades sobre las anclas, adonde daremos cuenta de los elementos de seguridad en navegación, las partes y sectores de un ancla con cepo de madera, la nomenclatura y descripción de las piezas; 2) las anclas de un barco de guerra, en particular los tipos y disposición a bordo, algunas consideraciones sobre el peso, el número de piezas con las que debían equiparse las fragatas y navíos, la información de las ordenanzas y los casos particulares, el peso de las anclas de mayor porte, las operaciones con las anclas de leva, la maquinaria necesaria para echar y levar anclas, el manejo del cabrestante, las roturas, refacciones y modificaciones durante la vida útil y otros elementos de fondeo y espía; 3) los modelos europeos, con foco en sus rasgos diagnósticos, la identificación de piezas, las dimensiones y proporciones generales (comparativa de casos), el patrón *Old Admiralty Longshank* (Almirantazgo) y la estandarización durante el siglo XVIII; 4) tecnología de fabricación por medio de forja: etapas del proceso, métodos y materiales utilizados, defectos del proceso de manufactura y calidad de las anclas del servicio naval; y 5) los cambios del nuevo siglo (la introducción del cable de cadena y el cepo de hierro).

En la segunda sección, dedicada a las bombas de carena, versamos sobre las cuestiones que siguen a continuación: 1) mantenimiento de un barco a flote; el problema de las filtraciones en los barcos de madera y las características generales de las bombas de sentina; 2) tipos de bombas de carena: bombas aspirantes y de cadena, principios de funcionamiento y principales componentes; otros tipos de bombas de agua: portátiles, contra incendios, etc.; y 3) tubos y válvulas de metal, en particular el reemplazo de los caños de madera por tubos metálicos, la

combinación de rasgos, las mejoras en las prestaciones de los equipos, las aleaciones empleadas, la resistencia mecánica de los materiales y la fricción entre los componentes, y las patentes.

En la tercera parte, abocada al timón, desarrollamos los siguientes aspectos: 1) la maniobrabilidad de un barco de guerra: importancia del control de la nave en combate; 2) el timón, sus partes principales y características, el sistema de dirección de la pala (rueda y caña) y sus aspectos constructivos y 3) los componentes metálicos (la articulación con el codaste, i.e. los goznes), la incorporación de las piezas de aleación de cobre, el forro metálico, los elementos de sujeción y de seguridad, y la calidad del hierro empleado para la caña.

SISTEMA DE FONDEO

Generalidades sobre las anclas

Elementos de seguridad a bordo

Las anclas (*anchors; ancres*) eran instrumentos de hierro que, afirmados al extremo del cable y arrojados al agua, servían para amarrar (aferrar, fondear, anclar) los barcos en puerto u otro fondeadero (ancladero), y asegurarlos así frente a la acción de los vientos (Falconer 1780: ANCHOR; Moore 1801: ANCHOR; O'Scanlan 1831:33). A lo largo de la historia se empleó una amplia variedad de anclas, en lo que a su forma y material respecta.¹ A diferencia de las anclas de la Antigüedad, las modernas estaban diseñadas para aferrarse al fondo una vez que llegaban a este, y para soportar un gran esfuerzo antes de ser arrancadas (Falconer 1780: ANCHOR) (Fig. 7.1). El ancla recuperada del *HMS Royal George* (1782) llevaba inscrita la leyenda *Fear not; I will hold you fast*.²

¹ En la Antigüedad, por ejemplo, los barcos que surcaron el Mediterráneo emplearon anclas de madera y cepo de plomo. Quien se interese por la historia de este artefacto, encontrará mayor información en algunas obras recopilatorias (e.g. Upham 1983; Gay 1997; Curryer 1999). En revistas especializadas tales como el *Mariner's Mirror*, el *International Journal of Nautical Archaeology* y el *Bulletin of the Australasian Institute for Maritime Archaeology*, también hay varios artículos históricos y arqueológicos dedicados al tema.

² "No temas; yo te mantendré bien afirmado".



FIGURA 7.1 – ANCLAS DE LA FRAGATA *HMS PALLAS*.

Título original, en inglés: *A Marine & Seaman fishing off the Anchor on board the Pallas in Senegal Road, Jany 75*. La lámina ilustra, en el primer plano, a un marinero de la fragata de 44 cañones *HMS Pallas* (1757-1783) sentado sobre dos anclas de proa de diferente porte (una de leva y otra de espía). En el segundo plano se aprecia a otro marinero, sentado sobre una boya. Acuarela realizada por Gabriel Bray (1750-1823) en enero de 1775. El artista se desempeñó como Segundo Teniente en esta fragata, bajo el mando de William Cornwallis (1744-1819). Dimensiones de la lámina: 13,1 cm x 18,5 cm.

Fuente: National Maritime Museum, Greenwich, Londres. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

La falta o pérdida de las anclas era un accidente recurrente. Los esfuerzos mecánicos a los que estas piezas se veían sometidas (e.g. mientras los barcos se encontraban fondeados o durante las maniobras realizadas para zafar de una varadura), podían concluir con la rotura de alguna de sus partes. En ocasiones, los barcos que sufrían un temporal debían darse a la vela y abandonar las anclas para salvarse. Situaciones de estas características suelen mencionarse en las fuentes

documentales y están atestiguadas por los numerosos ejemplares aislados que en la actualidad descansan en el lecho de ríos y mares.³

Hoy en día, como anticipamos en la introducción al capítulo, el estudio de las anclas procedentes de sitios arqueológicos constituye una fuente de información de particular interés para el análisis de la tecnología y, en el caso de los naufragios, de los restos asociados (Fig. 7.2).



FIGURA 7.2 – ANCLA DE HIERRO DEL SITIO ÁNIMA DE LAS VICTORIAS.

Operación de relevamiento métrico de un ancla de hierro hallada en el sitio *Ánima de las Victorias*, Bahía del Espíritu Santo (Quintana Roo, México).

Foto: F. de M. Curiel 2009. © Archivo del Instituto Nacional de Antropología e Historia, Subdirección de Arqueología Subacuática (INAH-SAS), México, D.F. Reproducción autorizada, cortesía de Helena Barba Meinecke.

³ En Argentina existe constancia material de estos incidentes en el Río de la Plata y otros sitios del litoral atlántico. Algunas de estas piezas han sido recuperadas de diferentes cuerpos de agua, y en ocasiones fueron sujetas a estudios detallados. Es el caso de dos ejemplares extraídos del Río de la Plata, uno de los cuales fue estudiado en base a sus características morfológicas (Argüeso et al. 2004) y el otro, además, mediante análisis de caracterización del material (Svoboda et al. 2005). A lo fines de nuestro estudio, tienen especial relevancia los resultados de la investigación llevada a cabo sobre una pieza hallada en Puerto Deseado, en cercanía del sitio *Swift* (1770), sobre la que hablaremos más adelante.

Al respecto, por su carácter global y valor como fuente de consulta para la investigación de este tipo de piezas, merece la pena citar la iniciativa *Big Anchor Project*, de la Nautical Archaeology Society (Portsmouth, Hampshire, Reino Unido). La plataforma online del proyecto (véase www.biganchorproject.com) permite acceder al registro detallado de un número considerable de piezas distribuidas en diversas regiones del mundo, y compartir los datos sobre nuevos ejemplares (e.g. Bell y Knott 2010).

Las partes de un ancla de hierro y cepo de madera

Las principales partes metálicas de un ancla o anclote eran las siguientes: 1) la caña o asta, que iba desde la cruz hasta el arganeo (o argolla); 2) los brazos, que nacían desde la parte inferior de la caña (en la cruz) y ascendían con cierta curvatura hacia los costados; 3) las palmas o mapas (a veces llamadas pestañas, orejas, manos), planchas triangulares que iban colocadas en la parte interior de los brazos, que al agarrarse el ancla ejercían la resistencia necesaria para mantener el barco fondeado y 4) el arganeo, de donde pendía la pieza.

En la figura 7.3 ilustramos los nombres de cada una de las partes y sectores más importantes de un ancla del siglo XVIII, que según los registros del museo adonde se expone habría pertenecido al navío *HMS Agamemnon* (1781-1809) (véase el capítulo 8). Utilizamos como guía básica las referencias consignadas en varios tratados (e.g. Réaumur y Duhamel de Monceau [1764] 1993; Cotsell 1856), diccionarios especializados (e.g. Blanckley 1750:1,2; Dufief 1810:54; Chambaud y Des Carrières 1815: ANCHOR; Burn 1852:11; Franke 1855:8) y otros trabajos sobre la materia (e.g. Jobling 1993:136-138).⁴

⁴ Existe cierta ambigüedad con respecto a los nombres atribuidos a las partes de un ancla, y en las equivalencias entre diferentes idiomas. Por ejemplo, la traducción de *uña* que encontramos en el *Diccionario español* de O'Scanlan es *palm* o *fluke*; no obstante, según lo expresado en la mayoría de los textos anglosajones, estas corresponden a lo que en aquel se describe como *pestaña*. En la sección del vocabulario inglés-español de esta obra, por otro lado, se traduce de modo más apropiado el término *bill* (i.e. el pico de loro) como *uña*. Para el resto de los casos en que no existe una única posición respecto del significado de los términos, intentamos anar criterios.

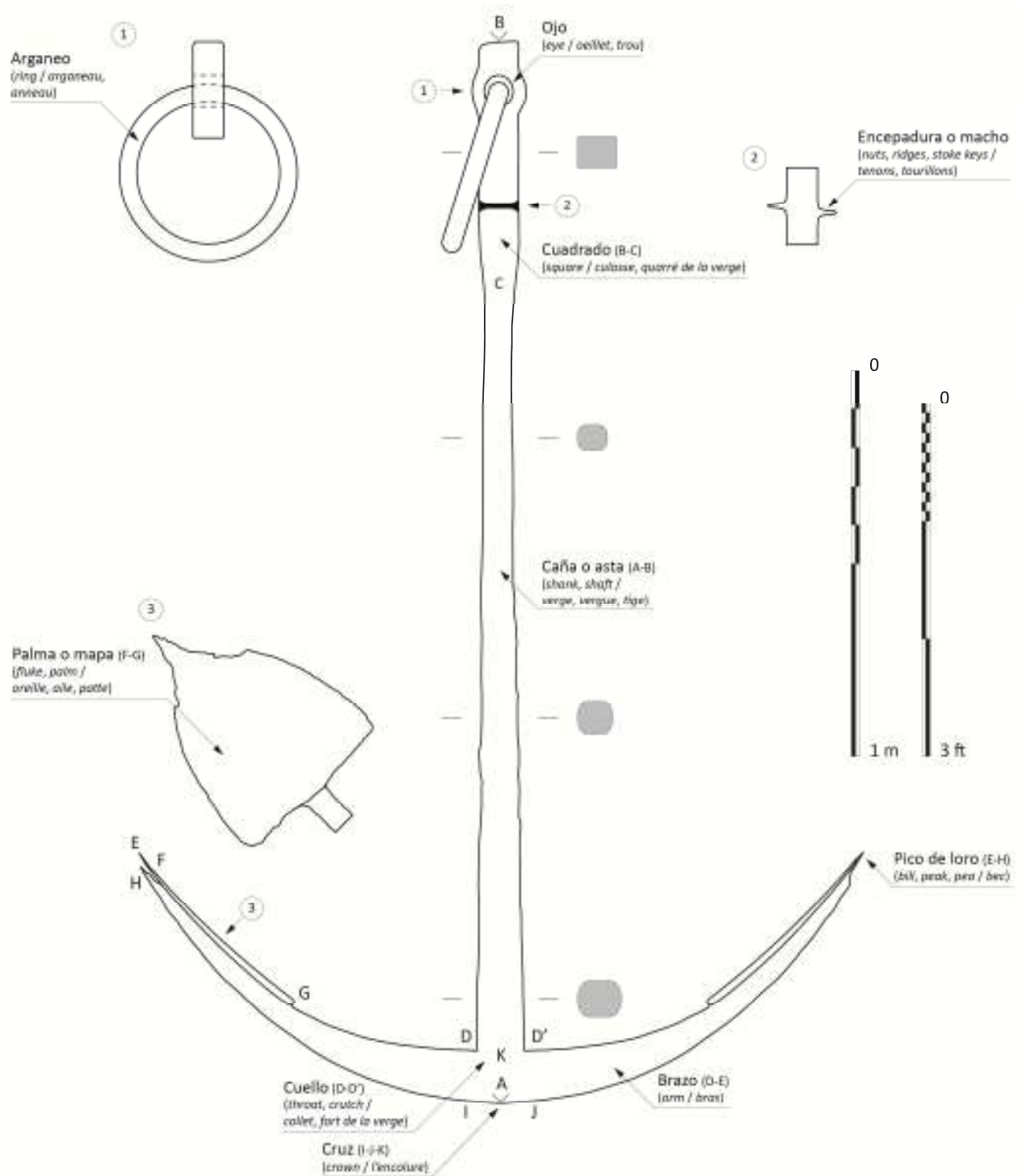


FIGURA 7.3 – ANCLA DE HIERRO DEL SIGLO XVIII.

Nombres de las principales partes y sectores de un ancla de hierro con cepo de madera (este elemento no está representado en el dibujo).

Gráfico: N. Ciarlo 2014; elaborado sobre la base de un ancla de hierro expuesta en el Museo Naval de Montevideo, Uruguay.

La caña (*shank, shaft; verge, vergue, tige*) era la parte más alongada del ancla. En el extremo inferior de esta vara iban unidos los brazos; y en el opuesto, el cepo. El largo de la caña se consideraba desde la parte inferior de la cruz hasta el extremo superior.⁵ Esta medida guardaba cierta relación con respecto a la manga del barco. Durante la primera mitad del siglo XVIII, aún se utilizaba la antigua regla para calcular el largo del ancla de mayores dimensiones llevada a bordo como $\frac{3}{5}$ de la manga del barco. Esta relación fue expresada en 1717 por William Sutherland, en su obra *Britain's Glory: or Ship-Building Unvail'd* (Sutherland 1717:22). Con el tiempo, esta relación cambió por una menor. En su *Traite du Navire*, Bouguer sostuvo que el largo de la caña correspondía a $\frac{3}{4}$ de la manga (Bouguer 1746:98).

Los brazos eran las dos extremidades unidas de forma perpendicular a la caña, que al clavarse en el sedimento permitían que el ancla quedara aferrada al fondo. Estos guardaban cierto ángulo con respecto al eje de la caña, del que dependía su capacidad de agarre al fondo y el esfuerzo que debían soportar (en especial a la altura de la cruz). El enganche podía verse comprometido si el ángulo de los brazos era muy cerrado, mientras que la tensión mecánica aumentaba a medida que el ángulo se abría y, por ende, era necesario fortalecer las zonas más afectadas. En la práctica, por lo general se buscaba una solución de compromiso. Veremos más adelante que la apertura de los brazos era ligeramente diferente según la procedencia de las anclas, y que asimismo fue cambiando a lo largo del tiempo.

Las palmas o mapas consistían en unas planchuelas de forma triangular que iban colocadas sobre la superficie de la parte interior de los brazos, entre cerca de la mitad y el extremo. Le otorgaban mayor capacidad de agarre a las anclas. El segmento distal de los brazos, inmediatamente a continuación de las palmas, se denominaba uña y la punta propiamente dicha, pico de loro (o de papagayo).

El arganeo era un aro de hierro, que estaba engastado en el extremo de la caña (pasaba a través del ojo). A este iba amarrado el cable del ancla, mediante malla de entalingadura. Esta argolla estaba recubierta por cabo, a fin de evitar que el hierro dañara al cable de materia vegetal (cáñamo). Con la introducción del cable de cadena (véase más abajo) fue necesario reemplazar el arganeo por un grillete

⁵ Sutherland (1717:22,23) definió el largo desde el extremo superior hasta la parte alta de la cruz (a la altura donde se forman los vértices de unión entre la caña y los brazos).

(*shackle; manille*), arco de hierro semicircular que pasaba a través del ojo del ancla y cerraba por medio de un perno con chaveta (o rosca).

El cepo (*stock; jas, jat, jouait*) consistía en una pieza de madera compuesta que permitía que el ancla se aferrase (o mordiera) el fondo. Iba colocado en el extremo superior de la caña, que por debajo del ojo era escuadrada y en dos de sus caras paralelas tenía un resalto en forma de cuña (denominado encepadura o macho) que contribuía al encastrado de los maderos. Los tablones utilizados para cada una de las mitades (usualmente de roble) se unían entre sí mediante cabillas⁶ y abrazaderas de hierro (*hoops, bands; cercles du jas*).⁷ El cepo tenía una orientación perpendicular al eje de la caña y al plano de los brazos de la pieza. Cuando este apoyaba sobre el fondo, uno de los dos brazos quedaba en posición perpendicular a la superficie; así podía agarrarse rápidamente y permanecer en su lugar, mientras que la caña y el cepo quedaban en posición horizontal (Blanckley 1750:2; Falconer 1780: ANCHOR; O'Scanlan 1831:156,238). Para prevenir el deterioro de la madera, el cepo de las anclas solía forrarse, o bien cubriendo casi toda la superficie con tachones (tachonado) o bien mediante el uso de planchas de cobre o aleación de cobre (este sistema, tal como sucedió en el caso del revestimiento aplicado a los fondos, se empleó con posterioridad al primero).

Las partes de un ancla, se decía, guardaban cierta proporcionalidad entre sí (e.g. en las anclas inglesas, el largo de la palma solía estar definido como la mitad de la longitud del brazo). No obstante, tal como puede apreciarse en las fuentes aquí citadas, los criterios establecidos o sugeridos por los distintos autores no eran idénticos. Además, las dimensiones de las anclas y las relaciones de tamaño entre las partes fueron sufriendo ligeras modificaciones con el tiempo (véase Telechea Idígoras 1977; para el caso de las anclas españolas fabricadas en Hernani). La situación se complejiza aún más si tenemos en consideración que, en la práctica, es probable que existieran discrepancias entre las piezas producidas en diferentes astilleros o ancorerías coetáneos. La dificultad de precisar estos aspectos, en principio, no impide realizar una identificación aproximada de la procedencia de un

⁶ Las referencias británicas hacen alusión al uso de cabillas de madera (e.g. Blanckley 1750:2).

⁷ Las abrazaderas eran flejes circulares o cuadrangulares —la forma dependía del uso que se les daba— de hierro que se empleaban para reforzar vergas y palos, así como para unir dos piezas o maderos, colocándolas alrededor de estos (Blanckley 1750:80; O'Scanlan 1847:1).

ancla, para la que bastará contar con algunos lineamientos generales sobre la morfología de las piezas en cuestión (véase más abajo).

Las anclas de un barco de guerra

Tipos de anclas y ubicación a bordo: consideraciones generales

Un barco estaba equipado con varias anclas de distintos tamaños. El número total de anclas llevadas a bordo, como veremos, dependía del porte del barco. En el caso de las fragatas y navíos, las cuatro que iban trincadas a proa por la parte exterior del costado, se denominaban de la siguiente manera (O'Scanlan 1831:33,34):

- Ancla de leva, sencilla o de cabeza (*small bower anchor, second anchor; ancre d'affourche*): era la más pequeña o de menor peso de las principales.
- Ancla de uso o del ajuste (*best bower anchor, first anchor; seconde ancre*): la que seguía en peso a la anterior. Esta y la anterior también eran llamadas anclas de leva, de cabeza, de pendura o de servidumbre (*bow anchors; ancras de bossoir, ancras de poste*).
- Ancla de esperanza, de horma, forma o formaleza (*sheet anchor; ancre de miséricorde, ancre d'espérance, maitresse ancre, grande ancre*): era la principal y de mayor peso, aunque se la contaba en tercer orden. Era empleada en caso de fuertes vientos o emergencia.
- Ancla cuarta o de respeto (*fourth anchor o spare anchor; ancre de ramplacement, ancre de rechange*): esta era la que seguía en peso a la del ajuste, aunque podía igualar a la de esperanza. Se utilizaba rara vez, por lo general como último recurso.

Las anclas de leva eran aquellas utilizadas corrientemente, y se disponían en la proa (Fig. 7.4). La del ajuste se llevaba en la banda de estribor y la sencilla, sobre la banda de babor; ambas estaban aseguradas por medio de un pescante. Las anclas de esperanza y de respeto iban trincadas por la parte exterior del costado, a popa de las de leva: la primera iba colocada en la banda de babor y la otra, en la de

estribor (Steel 1794:287,288).⁸ Los navíos de guerra solían llevar un ancla adicional (ancla de la caridad, de la cala), de mayor peso que la de esperanza. De ser necesario, esta podía emplearse para sustituir a cualquiera de las que estaban operativas (O'Scanlan 1831:34).⁹



FIGURA 7.4 – PROA DEL NAVÍO *HMS INVINCIBLE*.

Título original: “*Head of the Invincible*”. Vista de la proa del navío británico de 74 cañones *Invincible*. En la imagen se pueden ver las portas abiertas y los cañones de la primera y segunda batería asomados por fuera de ambos costados. En cada banda del castillo se disponen dos anclas, que penden de las serviolas. A popa de la de estribor se puede apreciar una tercera ancla.

Fuente: ilustración tomada del trabajo de Fincham (1851).

⁸ O'Scanlan, en cambio, señaló que las anclas de esperanza y de respeto ocupaban la posición contraria (O'Scanlan 1831:33,34).

⁹ En el caso de los navíos franceses, esta ancla iba colocada en posición vertical sobre la tablazón de la bodega (o cala), delante de la poza de balas, llegando en alto hasta el falso puente. La pieza hallada en el navío *Fougueux* (1805) podría corresponder, según las dimensiones que presenta, a un ancla de este tipo (véase Rodríguez Mariscal 2010:148-153, para mayor información sobre las características generales de este ejemplar). La posición en la que se encuentra el ancla hallada en *La Surveillante* (1797) también parece responder a esta modalidad (Breen y Forsythe 2007:44).

Además de las anteriores, los barcos disponían de un ancla de espía (*stream anchor; ancre à empeneller*) y un anclote (*kedge anchor; ancre de touée*). Estas últimas eran anclas más pequeñas que las anteriores: el anclote era la menor de todas.¹⁰ Se utilizaban para anclar en aguas calmas, mover la embarcación de un lugar a otro —en un puerto o río, cuando no había suficiente espacio o viento para navegar— o bien para mantenerla alejada del cable de fondeo de las anclas principales (Falconer 1780: ANCHOR; Pering 1819:15).

Número de anclas llevadas a bordo

En líneas generales, a mediados del siglo XVIII las fragatas y navíos de guerra británicos de tercer rango llevaban cuatro anclas principales, mientras que los de primer y segundo rango, cinco. Las corbetas, en cambio, llevaban tres anclas principales¹¹. Además, cada uno de estos debía tener un ancla de espía y un anclote. Hacia las últimas dos décadas del 1700, todas las fragatas y navíos estaban equipados con cuatro anclas principales, cuyo peso era acorde a las dimensiones de cada barco. Los navíos de primer y segundo rango pasaron a llevar un anclote adicional, más pequeño, aproximadamente de la mitad de peso que el transportado de modo habitual (véase Jobling 1993:89,97,101,105,106). Inicialmente, el *HMS Victory* estuvo equipado con un ancla de esperanza, cuatro de leva, una de espía y dos anclotes. La más grande medía 21 pies y 2 pulgadas (6,45 m) y tenía un cepo de 22 pies y 4 pulgadas (6,81 m). Las anclas principales de este navío eran particularmente grandes, varios quintales por encima de lo estipulado para un barco de primer rango (Jobling 1993:98-100).

En la tabla 7.1 listamos la cantidad y el peso de las anclas que debían llevar los barcos de guerra de la Real Armada británica de primer a sexto rango hacia

¹⁰ Las anclas más pequeñas también solían llevarse en la bodega. Así lo atestiguan varios naufragios de la época, tales como la fragata *HMS Sirius* (1797-1810). En el sector medio del barco, cerca de las bombas de sentina, se hallaron un anclote de 1,3 m y un rezón, dispuestos en posición vertical y con los brazos hacia arriba (von Arnim 1998:40,41). En el navío español *Triunfante* (1756-1795) también se halló un ancla pequeña en el sector de popa, acostada sobre la tablazón de la bodega (véase el anexo 7).

¹¹ Según Falconer, todo barco debía estar equipado con tres anclas principales, con su cable correspondiente (Falconer 1780: ANCHOR).

mediados del siglo XVIII, según lo expresado por Sutherland (1766:139). No obstante, los valores de peso parecerían estar subestimados con respecto a las anclas con las que se equipaban los barcos de guerra de la época. Es probable que ello se deba a que este autor utilizó la información de las Reales Ordenanzas de 1744, que para aquel entonces ya no reflejaban a este respecto la situación de los barcos de la flota (véase Jobling 1993:100,101). La situación hacia el último cuarto del siglo XVIII está representada en la tabla 7.2, donde se detallan los datos de la ordenanza del año 1786. Asimismo, en la tabla 7.3 exponemos la información consignada posteriormente por Steel en su obra *The Elements and Practice of Rigging and Seamanship* (1794:81).

La cuestión del peso que debían tener las piezas merece un comentario aparte. En 1750, Blanckley indicó que las anclas principales, i.e. la sencilla, del ayuste, de esperanza y de respeto, tenían por reglamento el mismo peso (se basó en las ordenanzas de la armada del año 1744). Por otro lado, la de espía y el anclote equivalían a un cuarto y un octavo del peso de aquellas, respectivamente (Blanckley 1750:2). Steel sostuvo más adelante que el peso de las anclas principales era similar (Steel 1794:77). Una proposición semejante encontramos en la obra de Moore (1801: ANCHOR) y Pering (1819:15).

Por caso, en la figura 7.5 reproducimos el documento ZAZ 6698 del National Maritime Museum, adonde se ilustra un ancla de esperanza o de leva y un anclote pertenecientes a un barco británico de 74 cañones. En el reverso de la lámina se consignan las dimensiones de las partes de este tipo de anclas (y de una de espía), junto con una tabla que contiene la cantidad, el peso y costo de las anclas que debía llevar un barco de aquel porte. Según lo expresado en esta última tabla, no había diferencia alguna de peso entre las de esperanza y de leva. El plano no tiene fecha, aunque la imagen de un ancla de leva similar (aunque más pequeña) fue publicada por Steel (1794:76). Por tanto, es probable que este documento sea de ca. 1790.

No obstante, en la práctica solían existir discrepancias entre una y otra. Con relación a lo anterior, Jobling notó que la de esperanza no necesariamente era la de mayor tamaño, sino que cada comandante tenía el derecho de escoger cuáles utilizar para cada fin. En otras palabras, en algunos casos el ancla del ayuste podía ser la de mayor porte a bordo (Jobling 1993:100).

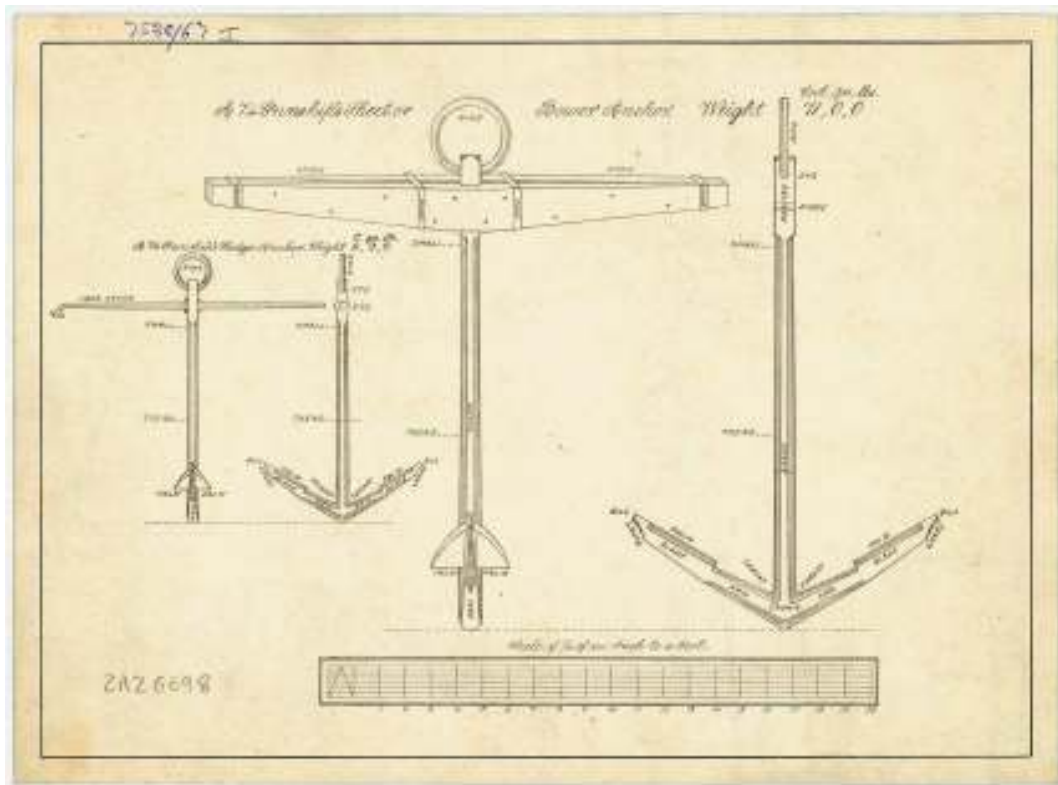


FIGURA 7.5 – PLANO DE UN ANCLA DE LEVA Y UN ANCLOTE.

Vista de planta y perfil de un ancla de leva de 71 quintales y un anclote de 8 quintales de un navío de 74 cañones. El plano está firmado (sin fecha) por C. S. Thomas. Dimensiones de la lámina: 19,1 x 25,8 cm.

Fuente: National Maritime Museum, Greenwich, Londres. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

A partir de los datos consignados en las ordenanzas de la armada y las características del equipamiento utilizado por diversos barcos de guerra británicos en determinado momento (que a veces presentaba discrepancias con relación a lo estipulado en aquellas), se puede apreciar claramente que la tendencia general a lo largo del siglo XVIII fue el incremento paulatino del peso de las anclas empleadas en el servicio naval. Este hecho estaba a su vez relacionado con el aumento del tonelaje y la artillería que fueron experimentando los barcos de guerra desde tiempo atrás. Este cambio pudo haber estado motivado por la expectativa de que las anclas más robustas soportaran mayores esfuerzos (Jobling 1993:111).

Las operaciones con las anclas de leva

Las anclas de leva iban suspendidas de unos pescantes fuertes que salían de las bordas del castillo, a los lados del bauprés, denominados serviolas (*cat-heads; bossoirs*). Las serviolas tenían dos o tres cajeras (aberturas), con sus correspondientes roldanas, por las que pasaba una cuerda que daba vueltas alternativamente por las garruchas de un cuadernal, que estaba provisto con un fuerte gancho.¹² Este sistema de poleas era el aparejo de gata (*cat; capon*), que se utilizaba para suspender las anclas desde que el arganeo asomaba por sobre la superficie del agua, y sujetarlas en el costado cuando el barco iba a dar la vela (arrizarlas o alotarlas), o para apearlas (destrincadas y bajarlas de su lugar) y dejarlas listas para echarlas al agua cuando debía fondearse. Además, las serviolas tenían una gran pasteca en el costado de proa o de popa, a través de la que pasaba un cabo grueso (el capón, también llamado boza) del que pendía el ancla (Falconer 1780: *cat-heads*; O'Scanlan 1831:34,407,491,492). En la figura 7.6 ilustramos un ancla a la pendura, en la que se aprecia además cómo era el sistema empleado para tal fin. En el trabajo de Falconer también se puede apreciar semejante mecanismo (Falconer 1780: Lámina 2).

Para fondear, se dejaba caer el ancla con su cable entalingado (el extremo amarrado al arganeo), que se arriaba lo suficiente como para que aquella se aferrase al fondo. Los cables de las anclas, cuando el barco se encontraba sobre sus anclas, se amarraban o retenían sobre las bitas, fuertes maderos colocados en forma vertical sobre la primera cubierta (bajaban hasta el sollado), al frente de los costados y al interior de las cuerdas de cubierta (O'Scanlan 1829:15,16).

Para levar un ancla *a vistas*, i.e. arrancarla del fondo y suspenderla hasta que el arganeo se descubriera por encima de la superficie del agua, se empleaba el cabrestante (*capstan, capstern; cabestan*). Esta máquina estaba formada por un armazón de madera, en parte cilíndrico y en parte cónico, que giraba sobre un eje vertical por medio de varias palancas o barrotes que se colocaban en su circunferencia, en uno o dos planos horizontales (Fig. 7.8). Se utilizaba para realizar

¹² Las dimensiones y el número de cajeras de un cuadernal dependían del objeto al que se aplicaban y de la fuerza que debía realizar el aparejo (O'Scanlan 1831:190). Este autor mencionó que las roldanas de las serviolas eran de bronce, mientras que en la citada obra de Falconer se menciona que podían ser de latón o de madera dura.

grandes esfuerzos con cabos gruesos (maromas), que pasaban alrededor de su cuerpo. El cabrestante empleado para tal fin era el principal o mayor, de dos cuerpos (uno en cada cubierta) unidos entre sí por un tambor cilíndrico, e iba colocado en el alcázar, a popa del palo mayor (O'Scanlan 1831:122,123).

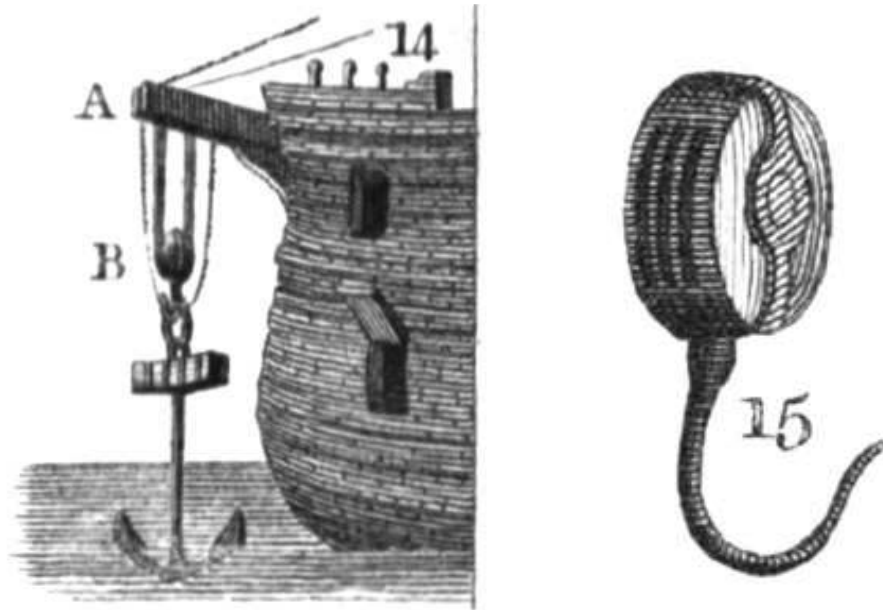


FIGURA 7.6 – ANCLA A LA PENDURA.

Ancla destrincada, pendiente de la boza y del aparejo de gata. A través de las roldanas de la serviola pasaba una cuerda que se comunicaba con un cuadernal, que tenía un gancho utilizado para suspender el ancla. En la imagen de la derecha se puede apreciar un detalle de este último artefacto, que exhibe tres cajeras.

Fuente: ilustraciones tomadas del trabajo de Moore (1801: Lámina 1, Figs. 14 y 15).

La operación involucraba un número importante de hombres y requería además de mucha coordinación entre ellos. Al cuerpo del cabrestante se le daban cuatro o cinco vueltas con un calabrote o guindaleza que habría de virarse, que a su vez estaba sujeto con badernas (o mojeles, i.e. cajetas hechas de meollar) al cable del ancla. El virador podía ser liso o de barrilete (en este caso tenía de trecho en trecho un nudo para impedir que se deslizaran los mojeles). Una vez colocados

los barrotes, un grupo de hombres se encargaba de virar el cabrestante en el sentido deseado, mientras que otro, ubicado en la proa, se ocupaba del cable del ancla. A medida que este ingresaba en la cubierta a través del escobén, los marineros que lo recibían iban colocando los mojeles, ya referidos; mientras tanto, a popa del palo trinquete, otros hombres deshacían las vueltas de cabo que unían al virador y al cable, e introducían este último en una escotilla que conducía hacia el depósito ubicado en la sentina (O'Scanlan 1831:71,88,122,123,558,559; Pujol i Hamelink y Roca i Verard, s/f:36).¹³

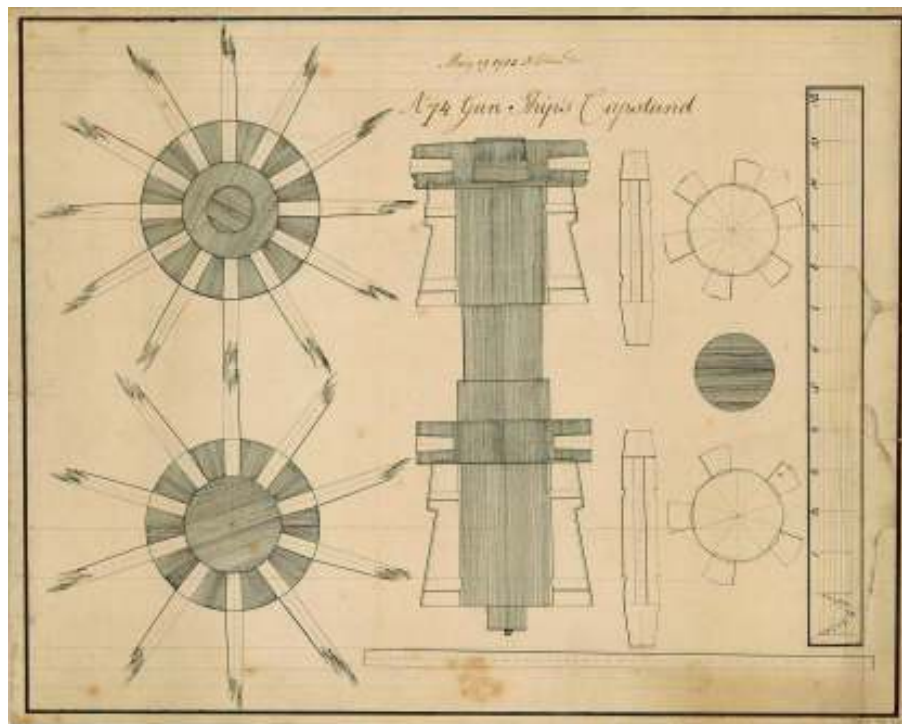


FIGURA 7.8 – CABRESTANTE DE DOS CUERPOS.

Planta y elevación de un cabrestante de dos cuerpos, destinado a barcos de 74 cañones, fechado en 1783. En la imagen se aprecian los dos cuerpos cónicos y el tambor cilíndrico que los unía, así como los barrotes utilizados para virarlo, que se introducían horizontalmente en la parte superior de cada uno de los cuerpos.

Fuente: National Maritime Museum, Greenwich, Londres. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

¹³ Para mayor información sobre maniobras con anclas, consultar los diccionarios especializados antes citados. Jobling también presentó un extenso glosario de términos vinculados a las operaciones con estos elementos (Jobling 1993:142-150).

Las anclas solían romperse debido al uso. Por ejemplo, durante las maniobras con el cabrestante para suspender el ancla del fondo, si se encontraba fuertemente agarrada, podía *arrancarse de patillas*, expresión que refería a la rotura de uno de sus brazos (O'Scanlan 1831:220). Los sectores que estaban sometidos a mayor esfuerzo eran: cerca de la sección media de la caña; en la parte media de los brazos (a la altura de la base de las palmas) y en el ángulo que formaban estos últimos con la caña. Al levar un ancla, la caña actuaba como una palanca y forzaba al brazo a desprenderse del fondo. De existir alguna debilidad en el empalme realizado en la cruz, el brazo podía quebrarse por su base. Asimismo, si la soldadura entre el brazo y la palma era defectuosa, esta podía ceder y perderse, o bien el brazo podía quebrarse en la mitad de su longitud. Por otro lado, si la caña era muy esbelta, cabía la posibilidad de que no fuera lo suficientemente fuerte para desaferrar el brazo y que se doblara y/o rompiera. De allí que las piezas estuvieran sujetas a diversos tipos de composturas a lo largo de su vida útil (Jobling 1993:81,82).

Por otro lado, no era extraño que algunas anclas sufrieran modificaciones. Merece la pena mencionar las dos anclas del barco mercante (y luego buque escuela) *Vernon*, que fueron transformadas en piezas de una sola palma en algún momento luego de 1867. Con tal propósito, sus brazos fueron doblados en caliente (en paralelo al eje de la caña). Estas anclas se encuentran expuestas hoy en día en el predio del Australian National Maritime Museum, en Sydney.

Otros elementos de fondeo y espía

Además de las anclas con las características antes descritas, en ciertas circunstancias se utilizaban otras, que presentaban algunas particularidades. Entre estas, podemos mencionar a las anclas de una palma (*single-fluke anchor, single-arm anchor; ancre borgne*). Tenían un solo brazo y se ocupaban en los arsenales, adonde permanecían clavadas y con una amarra fija, para sujetar boyas o los barcos que se estacionaban allí (Fig. 7.9). La carencia del segundo brazo permitía que los barcos quedaran posados sobre aquellas al bajar la marea, sin que sus cascos sufrieran daños. De las anclas sin arganeo hablaremos más adelante: así

eran llamadas las que tenían grillete y cable de cadena, una innovación de principios del siglo XIX.

Las anclas también recibían nombres especiales, según el uso que se les daba y el lugar en el que se empleaban. Por ejemplo, si estaban tendidas en la entrada de un puerto o fondeadero se llamaban ancla de fuera, y si se ubicaban hacia la costa o playa, ancla de tierra. Las utilizadas en las radas o puertos para espiar a los barcos que entraban y salían, o para amarrarlos durante algún tiempo, recibían el nombre de ancla firme de amarras (O'Scanlan 1831:34). La lista es más extensa (véase Jobling 1993:139-141).



FIGURA 7.9 – ANCLA DE UNA SOLA PALMA.

Ancla de ca. 1820, utilizada como amarradero permanente. Fue hallada en Deptford y, según lo expresa la cartela del Museo, pudo haber sido empleada para conducir a los barcos frente a la grada del astillero de la Real Armada que allí se localizaba.

Foto: N. Ciarlo 2010. National Maritime Museum, Londres.

Por otro lado, en los botes y otras embarcaciones menores se utilizaban unas anclas pequeñas de hierro forjado, sin cepo y con cuatro o cinco garras, llamadas

rezones (*grapnel, grappling; grapin, hérisson, harpeaux*). Otros objetos de forma parecida eran el arpeo de rastrear (*creeper; corbeau*) y el arpeo de abordar (*fire grappling; harpeau*): el primero se utilizaba para recuperar objetos del lecho en aguas poco profundas (rastrear), mientras que el segundo servía para retener a otro barco durante un abordaje. Cada uno de estos objetos poseía ciertos rasgos diagnósticos, tales como la forma de la caña, la cantidad y el largo de las garras, y la forma de las extremidades de estas últimas. Por ejemplo, según Steel, los garfios de los rezones medían un tercio de la longitud de la caña, mientras que la extensión de las garras de los arpeos de abordar equivalía a las tres cuartas partes de aquella (véase Steel 1794:80,82; Moore 1801: GRAPNEL; O'Scanlan 1831:52,470).

Este tipo de artefactos también forma parte del acervo material de algunos sitios arqueológicos (e.g. Canadian Parks Service 1992:57; Elkin et al. 2011:135,136; para mayor información sobre los análisis de este último, véase el anexo 6). En lo que resta de la sección, nos ocuparemos de las principales anclas utilizadas a bordo.

Los modelos europeos: rasgos diagnósticos

En la introducción de *A Treatise on the Anchor*, Pering resaltó que ninguna nación adoptó un ancla similar en cuanto a su forma, proporciones y partes componentes (Pering 1819:9). Esta situación, que para el autor era lamentable, es la razón por la que hoy en día es posible realizar una identificación de la procedencia de un ancla a partir de sus rasgos morfológicos generales. La tentativa, sin embargo, no es una tarea sencilla. Cualquier aproximación de esta índole depende de la regularidad (grado de estandarización) que presentaba la morfología de las piezas de cierta región. Desde un principio debemos tener en consideración que tal identificación refiere al lugar de fabricación; en sentido estricto, nada nos dice sobre el contexto de uso de la pieza examinada (véase más adelante).

La forma y dimensiones generales de un ancla del siglo XVIII probablemente sean el medio más inmediato con el que cuenta un investigador para realizar un reconocimiento de su procedencia. Ello se debe a que, pese a las sutiles variaciones

que podía haber dentro de cada región, las anclas utilizadas por cada armada tenían ciertas características exclusivas. El conocimiento de cada una de estas será, entonces, fundamental para su estudio. Asimismo, teniendo presente que el diseño de las anclas fue cambiando levemente a lo largo del tiempo, algunas de las modificaciones introducidas en ciertos años pueden resultar de utilidad como indicadores cronológicos aproximados toda vez que se requiera estudiar una pieza de origen arqueológico.

Debe tenerse presente que, como sucedía con los cañones, las anclas se adquirirían por diversas vías, entre ellas la importación (e.g. durante la segunda mitad del siglo XVIII, España fabricó anclas para Francia, Portugal e, incluso, Inglaterra) y el apresamiento de barcos enemigos. Por tales motivos, y pese a lo expresado, el diseño de una pieza no puede ser considerado como prueba exclusiva para adscribir a un determinado lugar, por extensión, los restos materiales asociados dentro de un sitio.

Forma y dimensiones

En la época que nos ocupa, por su grado de estandarización, destacan sobre el resto las anclas de la Real Armada británica. De estas nos ocuparemos en primer término.

El patrón conocido como *Old Admiralty Longshank* fue utilizado, con mínimas variaciones, para equipar a los barcos de guerra británicos desde mediados del siglo XVI hasta principios del siglo XIX, cuando fue reemplazado por el modelo que patentó Richard Pering en 1813 (Curryer 1999:73-77; véase Pering 1819, para mayor información sobre este último). Uno de los planos más tempranos de este tipo de anclas fue presentado por Sutherland, en la obra ya mencionada (Fig. 7.10).

Los rasgos más diagnósticos de este tipo de anclas, reconocibles a simple vista, eran: la cruz con terminación puntiaguda, los brazos rectos y el ángulo cerrado que estos formaban con la caña, el modo de unión de los brazos a la caña, los mapas triangulares equiláteros y la sección cuadrada de la caña debajo del ojo.

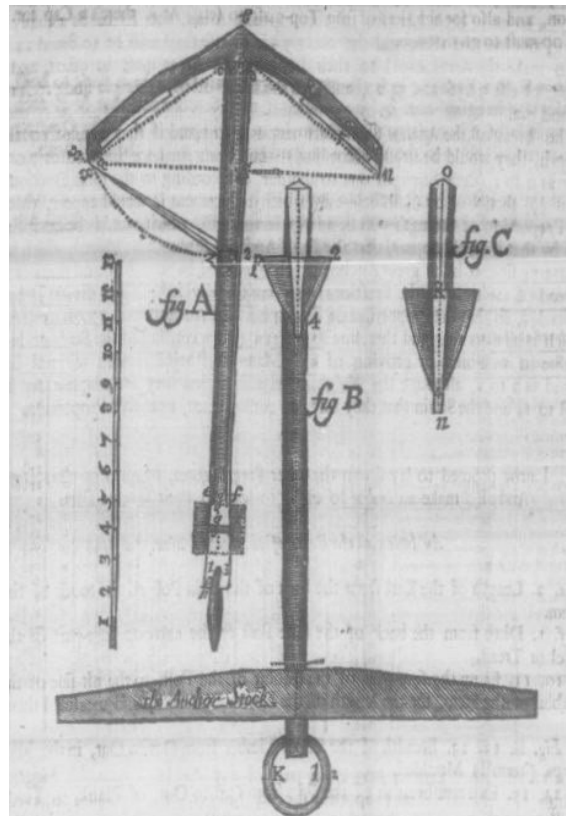


FIGURA 7.10 – ANCLA DE HIERRO (1717).

Planta y perfil de un ancla de hierro y cepo de madera británica de principios del siglo XVIII. La escala está en pies.

Fuente: plano extraído de Sutherland (1717:23).

En las figuras 7.11 y 7.12 podemos observar dos anclas de este tipo, que actualmente se encuentran exhibidas en el National Maritime Museum, en Londres, y el Australian National Maritime Museum, respectivamente. Esta última corresponde a una de las anclas recuperadas del *HMS Sirius* (1790). La pieza se localizó durante las campañas arqueológicas realizadas en la década de 1980. Otros dos ejemplares, extraídos con anterioridad, se encuentran en el parque Macquarie Place, en Sydney, y en el Norfolk Island Museum. En las imágenes de la derecha se pueden apreciar el detalle de los pernos y los zunchos con los que estaban unidas las mitades del cepo (reproducción actual) y el ángulo agudo que forman los brazos con la caña, así como la cruz puntiaguda, aspectos típicos de las anclas inglesas anteriores al siglo XIX.



FIGURA 7.11 – ANCLA TIPO *OLD ADMIRALTY LONGSHANK*.

Esta pieza fue recuperada en la costa de Sheerness, Kent (Inglaterra). El cepo original estaba recubierto con tachuelas, como protección contra los organismos perforantes.

Foto: N. Ciarlo 2010. National Maritime Museum, Londres.

Veamos algunas de las características de este tipo de anclas con mayor detalle. En primer lugar, el largo de la caña de las anclas principales solía determinarse en relación a la manga del barco. Pering realizó un recuento de las proporciones que diferentes autores propusieron antes que él. Por lo general, el valor se encontraba entre la mitad y tres octavos de la manga. Asimismo, este autor notó que los marineros tenían distintos modos de precisar el peso de las anclas, por ejemplo aplicando una relación a partir del largo de la caña (Pering 1819:19).

El ángulo de los brazos con respecto a la caña era un rasgo importante de este tipo de anclas. Sutherland propuso un ángulo que —según se desprende de su explicación, aunque el gráfico ilustrativo no guarda estricta proporcionalidad— debía calcularse de la siguiente manera: partiendo del largo del brazo (Fig. 7.3,

distancia D-E) se formaba un triángulo equilátero (tomando a aquel como base de la figura), que se rotaba sobre el punto de unión entre el brazo y la caña (Fig. 7.3, nodo D) de modo tal que el vértice opuesto a la base del triángulo coincidiera con el eje longitudinal de la caña. Sutherland llamó *middle meeting* a este punto medio. Pero las opiniones en torno al modo de posicionar los brazos, comentó este mismo autor, fueron siempre dispares. Otros utilizaron como punto de intersección con la caña el lado interno o externo de esta; por tanto, siguiendo uno u otro criterio, respectivamente, se obtenía un ángulo más o menos agudo (véase Sutherland 1717:22,23).



FIGURA 7.12 – ANCLA DEL SITIO *HMS SIRIUS* (1790).

Imagen de una de las anclas recuperadas del *HMS Sirius* (1790). Nótese el ángulo agudo que forman los brazos con la caña y la cruz puntiaguda, típicos de las anclas británicas del siglo XVIII.

Fotos: C. Perfumo 2010. Australian National Maritime Museum, Sydney. Reproducción autorizada, cortesía del autor.

Hacia la segunda mitad del siglo XVIII, los brazos de las anclas británicas estaban posicionados a 60° con respecto a la caña (Steel 1794:79). Por ejemplo, los brazos del ancla de esperanza con la que se equipó inicialmente al *HMS Victory*, tenían un ángulo aproximado de 59° en su parte inferior y se cerraban unos 7° a la altura de la base de la palma (Jobling 1993:93). En líneas generales, la propuesta de Sutherland continuó siendo el método empleado para establecer el ángulo de los brazos hasta principios del siglo siguiente. El largo de los brazos, siguiendo este criterio, era un tercio del de la caña (Pering 1819:16). Los mapas, por otro lado, tenían la mitad del largo del brazo (e.g. Murray 1765, citado en Jobling 1993:98), o se aproximaban a esta dimensión (Steel 1794:79).

Una comparación de las representaciones contemporáneas sugiere que a lo largo del siglo XVIII se produjo una leve disminución del ángulo de los brazos. Para ilustrar este hecho, superpusimos las siluetas de dos anclas, a partir de la ilustración de Sutherland (1717:23) y el plano del NMM, ZAZ 6698 (Fig. 7.13).¹⁴

El ancla ilustrada en la obra *Fabrique des Ancres*, que presentó Réaumur (con notas y adiciones de Duhamel) en 1723 ante L'Académie (i.e. la Académie Royale des Sciences de París) (Réaumur y Duhamel de Monceau [1764] 1993: Lámina 1), permite distinguir las diferencias principales que existían entre las anclas de origen británico y francés. Las anclas francesas del siglo XVIII tenían los brazos curvos, mientras que las palmas se extendían hasta el extremo del brazo, copiando su curvatura (Fig. 7.14).¹⁵ En la citada lámina vemos esbozado un ángulo de 60° (el triángulo que se forma en este caso es equilátero). El cepo también era diferente: los maderos tenían forma curva y sus extremos estaban redondeados.¹⁶

¹⁴ Igualamos el largo de la caña del ancla más temprana al de la más reciente y respetamos la proporcionalidad de las demás partes. Ello no supuso un cambio significativo, dado que los gráficos corresponden a piezas de tamaño similar: la primera pesa 71 quintales y 2 arrobas y la caña mide 18 pies y 6 pulgadas; mientras que la segunda pesa 71 quintales y el largo es 18 pies y 5 pulgadas. A principios del siglo XVIII, cabe notar, la primera servía para equipar un barco de mayor porte.

¹⁵ En 1716, Carel Allard publicó en Ámsterdam una obra sobre construcción naval, en la que ilustró un modelo de ancla con las siguientes características: caña de sección circular; brazos curvos, ligeramente en arco; mapas con la forma de un triángulo isósceles y el largo de la mitad del brazo; el cepo estaba formado por dos mitades unidas mediante ocho cabillas de madera por lado (sin zunchos). Las dimensiones fueron copiadas directamente de una obra de finales del siglo XVII.

¹⁶ Los cepos de las anclas inglesas se mandaron a hacer con sus extremos redondeados recién a partir de 1780, cuando se percataron de los daños que estos maderos le ocasionaban al forro de cobre de los cascos, sobre todo en condiciones de mal tiempo (Jobling 1993:103,104).

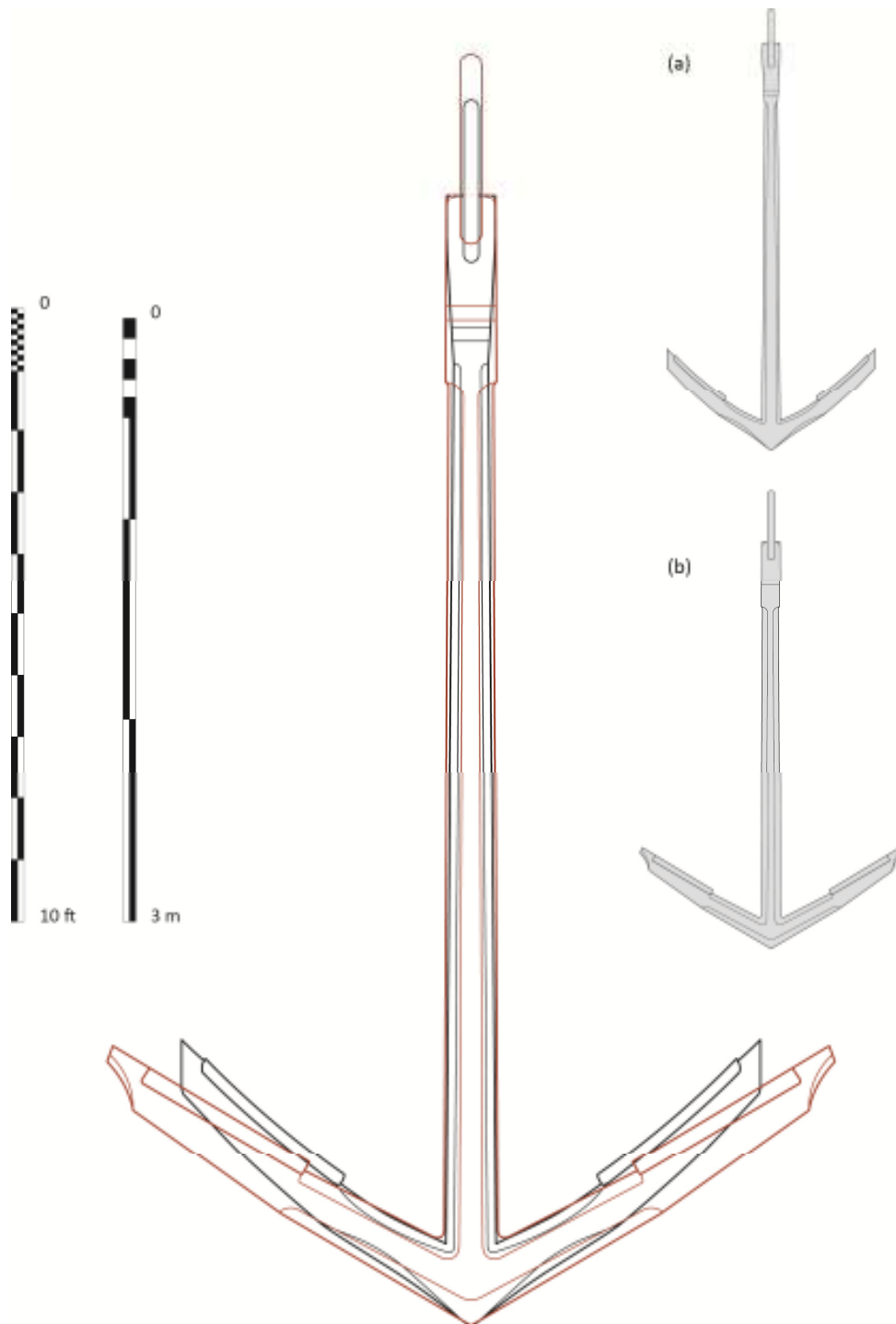


FIGURA 7.13 – COMPARATIVA ENTRE DOS ANCLAS INGLESAS DEL SIGLO XVIII.

Superposición de las siluetas de dos anclas inglesas del siglo XVIII, ilustradas en: (a) Sutherland (1717); y (b) plano del NMM, ZAZ 6698. El tamaño y peso de las dos anclas son similares; el ángulo de los brazos, en cambio, es más obtuso en el caso del ancla de ca. 1790.

Gráfico: N. Ciarlo 2014.

La información consignada en las fuentes documentales contaba ya con algunos cuantos años al momento de su publicación. El caso más notable es el de la sección *Marines, Forge des Ancres* de *La Enciclopedia* de Diderot y d'Alembert, que se deriva de la memoria sobre anclas de François Trésaguet,¹⁷ que fue contratista de anclas para la armada y también trabajó en la anclorería de Cosne, en Nièvre (véase Pinault-Sørensen 1992; para un análisis sobre este tema).

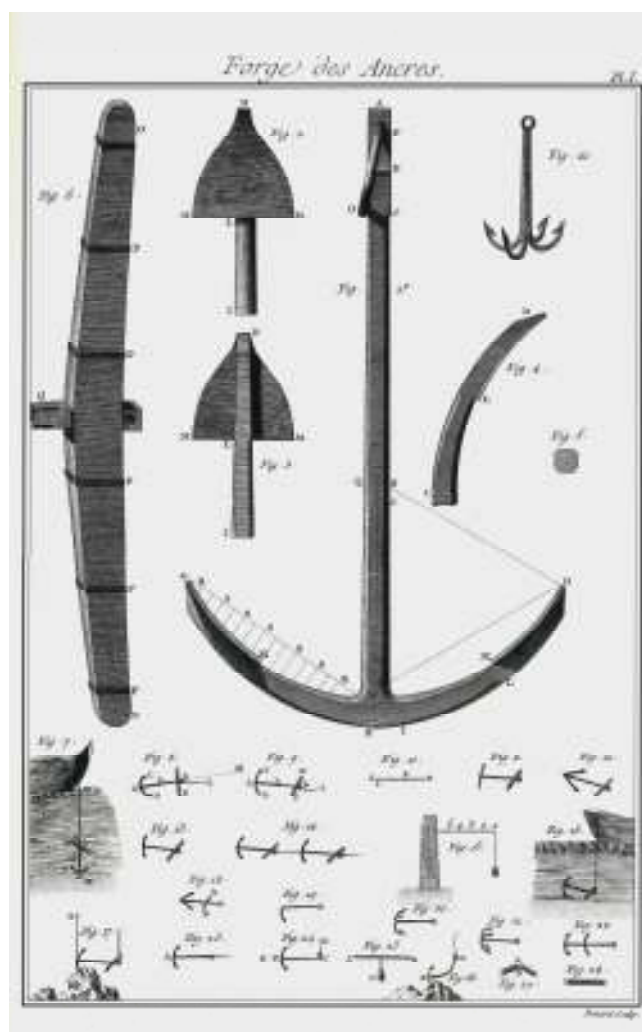


FIGURA 7.14 – ANCLA FRANCESA (CA. 1760).

Lámina primera de la obra *Fabrique des Ancres* de Réaumur y Duhamel. Las primeras seis figuras muestran las diferentes partes de un ancla de hierro y cepo de madera típica.

Fuente: Réaumur y Duhamel de Monceau ([1764] 1993: Lámina 1).

¹⁷ Para mayor información sobre la obra de Trésaguet, consultar el trabajo de Gay (1997).

A los fines comparativos, en la figura 7.15 mostramos las siluetas de dos anclas francesas contemporáneas. La pieza de *La Enciclopedia* es ligeramente más robusta y, pese a que los brazos nacen rectos, luego adoptan una forma curvada.

Bouguer también describió la forma y proporciones de las anclas francesas. Respecto de los brazos, dijo que unidos formaban un arco de 120° (Bouguer 1746:97). Esta morfología parece haber sido característica de las anclas francesas de la época. Según Jobling, durante el siglo XVIII las anclas británicas y las francesas tuvieron los brazos —cada uno con su particular forma— a unos 60° de inclinación con respecto al eje de la caña (Jobling 1993:93). Este valor, sin embargo, puede presentar algunas variaciones según el caso. Si consideramos las dimensiones de un ancla de caridad francesa que constan en la obra de Boudriot, podemos estimar que el ángulo en cuestión era de ca. 63° (Boudriot 2000, citado en Rodríguez Mariscal 2010:150). Al respecto, las medidas del ancla hallada en el *Fougueux* (1805), aunque están ligeramente sobreestimadas debido a la capa de concreción que cubre la pieza, indican que el ángulo entre los brazos y la caña era más agudo, en torno a los 55° (véase Rodríguez Mariscal 2010:150).

El largo de las palmas de las anclas francesas era similar al de las británicas; según Bouguer, la mitad de la extensión del brazo (Bouguer 1746:97). Los mapas del ancla ilustrada en *La Enciclopedia*, sin embargo, presentan una longitud claramente superior. Recordemos que estas planchas triangulares cumplían la función de aumentar la capacidad de agarre del brazo, que estaba a la vez en relación con la superficie de contacto ofrecida por aquellas. Pero cuanto más se aferraba un ancla, tanto mayor era el esfuerzo que se requería para arrancarla del fondo. Por otro lado, los mapas de las anclas francesas llegaban hasta el extremo del brazo, no así en las otras.

Entre los ejemplos de anclas de origen francés que fueron localizadas en sitios arqueológicos, podemos mencionar el caso del sitio identificado como el *Queen Anne's Revenge* (1718), ex barco de esclavos francés *Concorde* (Lusardi 2000:61); y la fragata *La Surveillante*, 1797 (Breen y Forsythe 2007:44,49). Más adelante veremos el caso de las anclas que perdió el barco *St. Jean Baptiste* en su viaje al Pacífico el año de 1769.

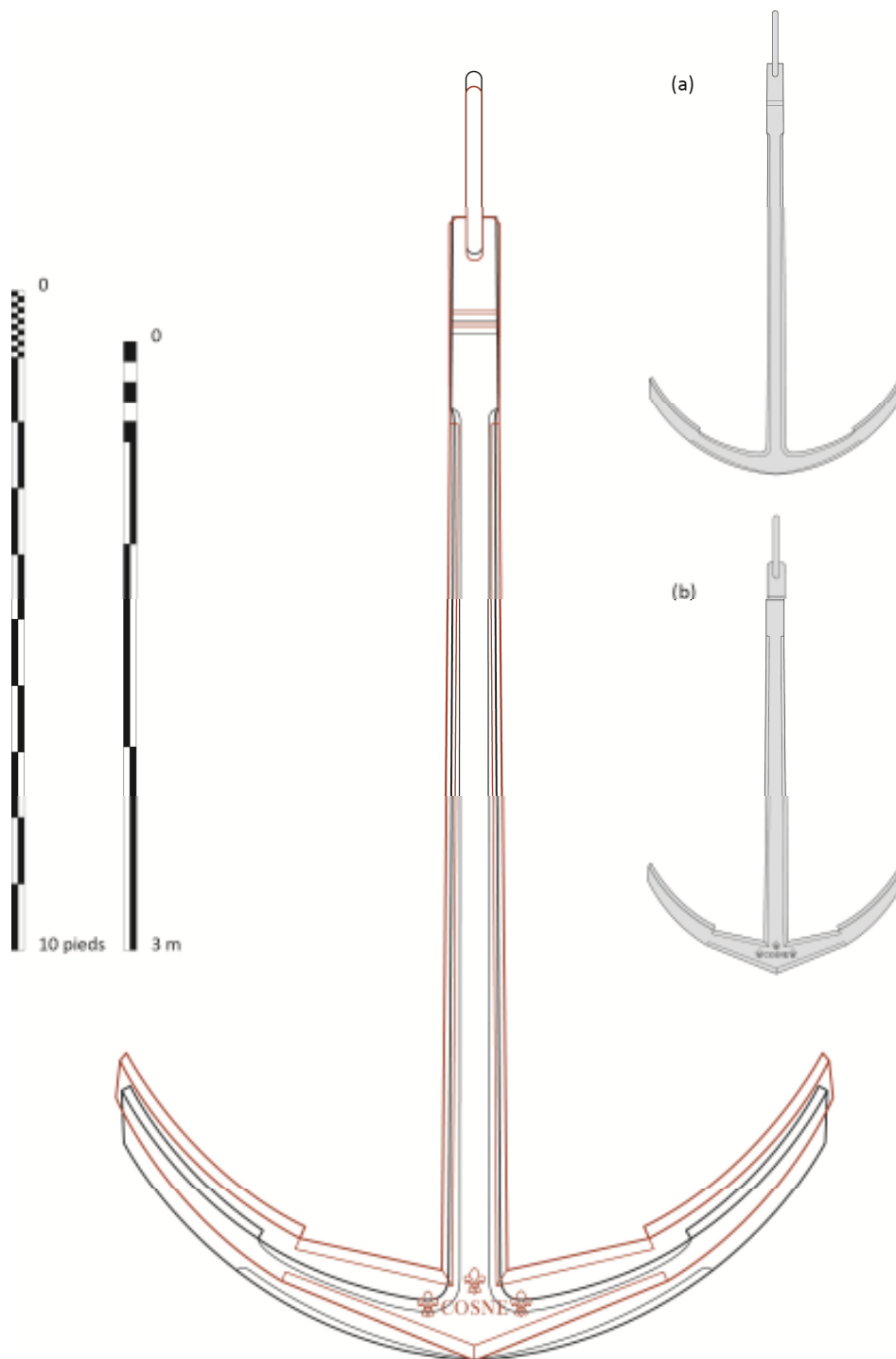


FIGURA 7.15 – COMPARATIVA ENTRE DOS ANCLAS FRANCESAS DEL SIGLO XVIII.

En esta lámina se aprecian intercalados los perfiles de dos anclas francesas, a partir de: (a) Réaumur y Duhamel de Monceau ([1764] 1993); (b) Diderot y d'Alembert (1769), *Marine, Forge des Ancres*, Lámina 12.

Gráfico: N. Ciarlo 2014.

Con relación a las anclas de origen español, un documento con fecha de 18 de abril de 1765 (AGS, Secretaría de Marina, 00606), anejo a una carta dirigida por Jorge Juan a Julián de Arriaga, nos ofrece una buena idea acerca de la morfología de los elementos de fondeo empleados por la armada. Las anclas y anclotes ilustrados en el plano únicamente difieren en su tamaño. Estas piezas guardan notables semejanzas con el ancla de *La Enciclopedia*, en especial en lo que a la forma de la corona y curvatura de los brazos respecta. Además, la mayoría de sus partes son proporcionales en tamaño. La principal diferencia yace en las palmas, que en las anclas españolas son más cortas y, al igual que en el caso de las británicas, tienen uñas (i.e. segmento puntiagudo en el extremo de los brazos).

En el libro de Telechea Idígoras (1977) encontramos, entre otros documentos, algunas cartas de mediados del siglo XVIII que refieren a las medidas que tenían las anclas fabricadas en Hernani. Estas presentan ligeras variaciones, según los reportes. En líneas generales, el largo de la caña solía triplicar al del brazo, mientras que el largo de las palmas era algo superior a la mitad del de este último.

Dado lo expuesto hasta ahora, podemos afirmar que el diseño general de un ancla europea del siglo XVIII constituye una fuente de información importante para identificar su procedencia particular (siempre en referencia al lugar de fabricación). De allí que, sobre todo en el caso de los hallazgos descontextualizados, sea posible dar cuenta de ello a partir del análisis de ciertos rasgos macroscópicos. En la figura 7.16 mostramos el contraste que, en cuanto a la forma, puede apreciarse entre un ancla británica y otra francesa.

Empero, como dijimos, el análisis no es cosa sencilla. Pese a los aspectos típicos de cada modelo, podían existir discrepancias asociadas a la fabricación de cada lugar. Las anclas halladas en el sitio *HMS Sirius* (1790), pese a ser del tipo *Old Admiralty Longshank*, presentan varias diferencias, e.g. con relación al largo de la caña, la forma y extensión de los brazos y el grueso de la corona (Stanbury 1994:71).

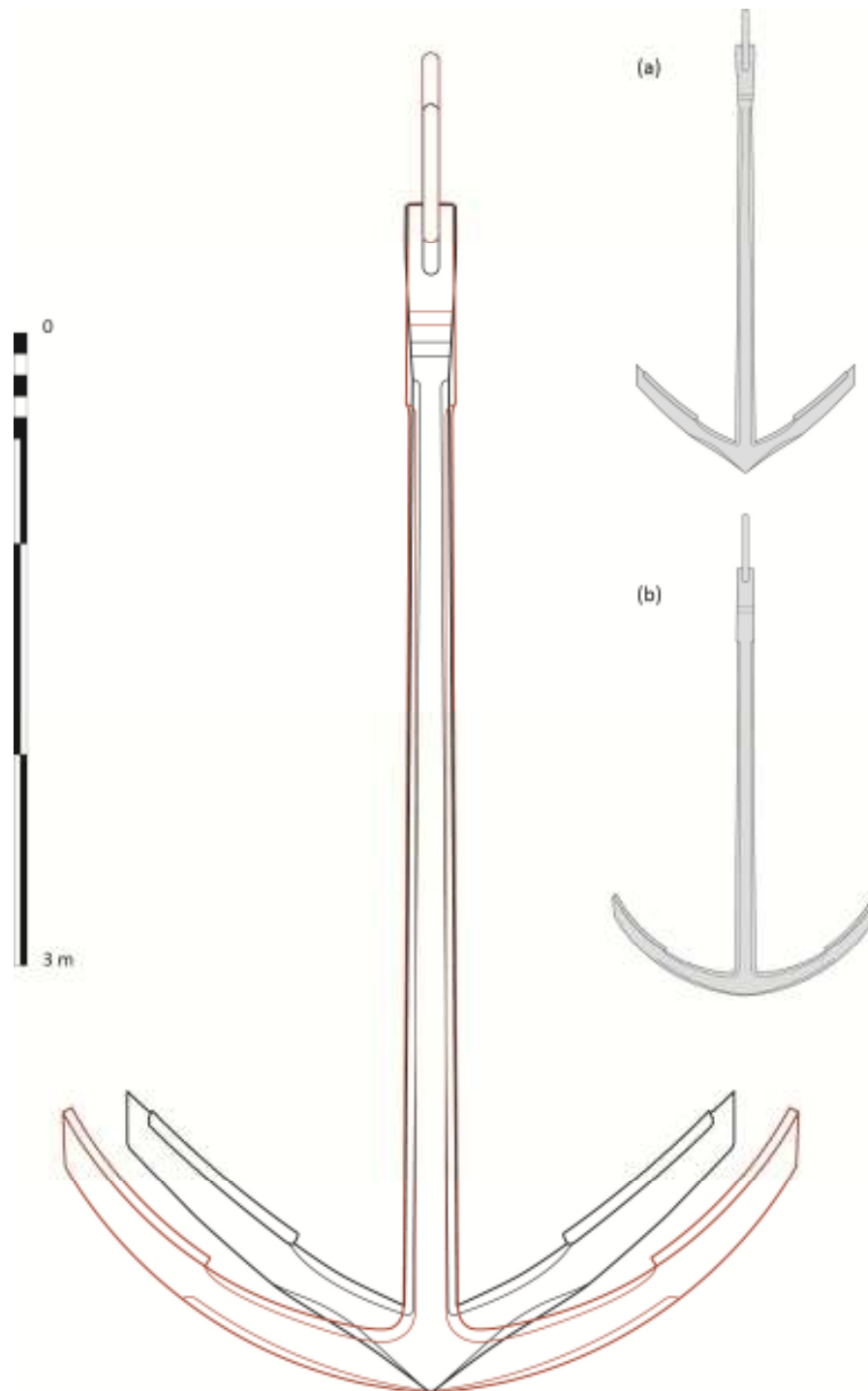


FIGURA 7.16 – COMPARATIVA ENTRE ANCLAS INGLESAS Y FRANCESAS.

En la imagen se muestran las siluetas de dos anclas del primer tercio del siglo XVIII, reproducidas a partir de: (a) Sutherland (1717); y (b) Réaumur y Duhamel de Monceau ([1764] 1993). A igual tamaño de la caña, la principal diferencia radicaba en la forma de los brazos y el ángulo que formaban respecto de la caña.

Gráfico: N. Ciarlo 2014.

Además, debemos tener en cuenta que muchas anclas sirvieron para equipar distintos barcos, no siempre del mismo pabellón. Las situaciones de transferencia de este tipo de objetos eran varias (e.g. compra, botín, salvamento). Muchos cañones corrieron una suerte semejante. Cuando se cuenta con evidencia adicional confiable sobre la nacionalidad de los restos de un naufragio, es posible abordar el estudio de aspectos de esta índole. Pero en aquellos casos en que nos encontramos con hallazgos aislados, la situación se torna compleja.

Las anclas del barco francés *St. Jean Baptiste* son un caso ejemplar. El año en que Cook emprendió su primer viaje al Pacífico Sur (1769), el explorador francés Jean de Surville partió a bordo de aquella nave desde Puducherry hacia la misma inexplorada región. Frente a la Isla de Tioman, en Malasia, perdió la primera de sus seis anclas. Con la tripulación muy enferma, permanecieron fondeados un tiempo en la Bahía Doubtless, en Nueva Zelanda, donde comerciaron con una población maorí que habitaba en la zona. El barco estuvo expuesto a una fuerte tormenta, que obligó a de Surville a cortar los cables de las tres anclas con las que estaba fondeado el barco. Luego perdió una cuarta ancla (pequeña) debido a que el cable no resistió. Con tan sólo un elemento de fondeo, decidieron dirigirse hacia el este, al Perú. La expedición terminó en fracaso; gran parte de la tripulación murió y apenas lograron llegar a la costa occidental americana, donde el barco fue apresado por los españoles y debió esperar tres años antes de poder salir desde El Callao de regreso a Francia. A finales de la década de 1960, Tarlton emprendió una serie de búsquedas en la Bahía Doubtless, a partir de las que se localizaron dos de las anclas principales y un rezón. Dada la ubicación de los hallazgos y los datos obtenidos del análisis documental, estas anclas fueron identificadas como aquellas que pertenecían al *St. Jean Baptiste* (Tarlton 1977).

Las dos anclas de mayor porte, muy similares, se encuentran en la actualidad exhibidas en el Museum Te Papa Tongarewa (Wellington, Nueva Zelanda) y en el Far North Regional Museum (Kaitaia, Nueva Zelanda). Por caso, el ejemplar que yace en el primer Museo (No. de registro NS000047/2) está catalogado como un ancla de hierro forjado francesa de ca. 1760, ancorero desconocido, que fue donada en 1974 por Mike Bearsley y Kelly Tarlton. Las principales dimensiones de la pieza son: 444,5 cm (largo de la caña) y 287 cm (distancia entre los extremos de los brazos). La identificación anterior, en particular en lo que a la procedencia

respecta, debió estar fundamentada en la adscripción que llevó previamente a cabo Tarlton de las anclas recuperadas del fondo de la Bahía Doubtless.

El diseño de las anclas en cuestión, sin embargo, responde a un modelo británico de la segunda mitad del siglo XVIII (Fig. A.7.17). El modo en que los brazos se unen a la caña, por lo que puede apreciarse a nivel macroscópico, refuerza la afirmación anterior (véase más abajo).



FIGURA 7.17 – ANCLA ASIGNADA AL *ST. JEAN BAPTISTE*.

Una de las anclas halladas en la Bahía Doubtless, que fueron atribuidas al barco de Jean de Surville. En la ilustración se superponen a la imagen de la pieza los diseños de dos anclas de la segunda mitad del siglo XVIII: (a) británica (en base al documento ZAZ 6698 del National Maritime Museum, ca. 1790); (b) francesa (en base a la lámina 12 de la sección *Marine, Forge des Ancres*, de *La Enciclopedia*, 1769). Nótese la similitud entre el ancla recuperada y la primera.

Fuente: Museum Te Papa Tongarewa, Nueva Zelanda. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Gráfico: N. Ciarlo 2015.

Marcas superficiales

Además de las características morfológicas, entre los rasgos diagnósticos podemos contar las marcas de fabricación que eran realizadas sobre algunas anclas. Destacan en este sentido las anclas francesas, que solían llevar sobre una de las caras de la cruz el nombre del fabricante y distintivos nacionales como la flor de lis (*fleur-de-lys*) y sobre la otra, el peso expresado en libras (Rodríguez Mariscal 2010:151).

Las anclas británicas destinadas al servicio naval, en teoría, tenían que estar marcadas con el peso, la flecha del Almirantazgo —que, como ya vimos, aludía a la Real Armada británica y se encontraba inscrita en un sinnúmero de objetos llevados a bordo de los barcos de guerra— y las iniciales del ancorero contratado por la Real Armada. No obstante, ante las reiteradas fallas ocasionadas en la práctica, debido a las limitaciones de la tecnología de forjado de aquel entonces, los fabricantes eran reacios a plasmar sus nombres en sus anclas. La razón era obvia: nadie quería responsabilizarse por las pérdidas ocasionadas si un ancla fallaba (Jobling 1993:124).

Destaca como elemento diagnóstico la flecha del Almirantazgo. Casos que ilustran este empleo son el ancla del *HMB Endeavour* (1778), de la que hablaremos luego, y el ancla que perdió el navío de 64 cañones *HMS Dictator* hacia 1814 en Point Patience, Maryland, EE.UU. También podían llevar grabadas otras marcas, tales como el peso, el lugar de producción y el barco al que pertenecían. La caña del ancla de aquel navío de tercer rango llevaba la siguiente inscripción: *Rec Chat 6 x 3 x 24*. Estos datos dan cuenta, por un lado, de que la pieza fue recibida en Chatham (había sido fabricada por contrato) y, por el otro, de que pesaba 6 cwt, 3 qtr y 24 lb, i.e. 780 lb (ca. 354 kg). El cepo de madera, que se encontraba en muy buen estado al momento de su recuperación, conservaba la siguiente información: *Dictator* (en alusión al nombre del barco) *6 x 3 x 24* (peso) y *6625* (número de pieza) (véase Schwartz y Green 1962; Knuckey 1988; para mayor información sobre estas dos piezas).

Las marcas solían estar localizadas en determinados sectores del ancla. La cruz era uno de los sitios por excelencia. Lamentablemente, debido a los procesos de deterioro que sufre el hierro forjado en el medio acuoso, especialmente salino,

muchas veces estos rasgos no son reconocibles en las piezas procedentes de sitios arqueológicos (amén de la capa de concreción que suele cubrir la superficie de las anclas). Lo mismo puede decirse para el caso de la madera, cuya superficie suele deteriorarse más rápidamente, pese a excepciones como la que mencionamos.

El examen metalúrgico de un ancla puede aportar información de interés sobre diversos aspectos de la tecnología de fabricación de la época (e.g. la calidad de los materiales y los métodos de forjado empleados) que, asimismo, pueden ser de utilidad para realizar una identificación, en especial en aquellos casos en que el diseño de las piezas se mantuvo prácticamente sin alteraciones durante mucho tiempo.¹⁸ Sobre este tema nos ocuparemos en el siguiente acápite.

Tecnología de producción¹⁹

Las fábricas y los maestros ancoreros

La producción de anclas estaba a cargo de herreros especializados, llamados maestros ancoreros (*anchorsmiths; forger d'ancre, forgeron d'ancre*), e incluso de los *shipsmiths*, que eran los responsables de hacer los herrajes y herramientas necesarios para la construcción de los barcos (Brack 2008:13). Por lo general, se fabricaban en establecimientos especializados, las ferrerías o ancorerías. Estos sitios tenían diferentes características, según el equipamiento que empleaban (e.g. martinets hidráulicos, pescantes, fraguas, etc.) y el porte de las anclas que eran capaces de producir.

En la figura 7.18 ilustramos un taller holandés de finales del siglo xvii. Allí podemos ver a un grupo de operarios trabajando a fuerza de brazo sobre un ancla pequeña, junto a la fragua y el pescante empleados para mover las piezas. En

¹⁸ Jobling hizo eco de los estudios de caracterización cuando afirmó, para el caso del estudio de las anclas británicas, que “la falta de variación tipológica en el diseño de las anclas tipo *Old-Plan Longshank* limita severamente la exactitud de la adscripción cronológica. Sin embargo, si se aplica a la cronología la información histórica sobre la tecnología del hierro, las fechas pueden precisarse aún más. Los cambios constructivos frecuentemente derivaron de los cambios en la tecnología. Otros cambios tecnológicos en ocasiones sólo pueden ser apreciados observando la microestructura del hierro en sí” (Jobling 1993:126).

¹⁹ Hemos tratado el tema de la fabricación de anclas durante el siglo xviii de forma sucinta en otra oportunidad (Ciarlo et al. 2011).

primer plano se observa a otro individuo (posiblemente el maestro ancorero) y un haz de barras de hierro, con las que se hacían las partes principales de las anclas (véase más abajo). La presencia de barcos en el fondo de la imagen sugiere que la fábrica se encontraba emplazada dentro de un complejo de instalaciones navales.



FIGURA 7.18 – ANKERSMID (1698).

Interior de una ancorería holandesa, en la que puede apreciarse a un grupo de martilladores forjando la cruz de un ancla. Grabado anónimo, impreso por Jan Luyken, Amsterdam (RP-P-1896-A-19368-1600). Dimensiones de la lámina: 13 x 8,6 cm.

Fuente: Rijksmuseum (Museo Nacional de Ámsterdam, Países Bajos).
Recurso de dominio público.

www.rijksmuseum.nl/nl/collectie/RP-P-1896-A-19368-1600

En *La Enciclopedia* también podemos apreciar cómo era el interior de una ancorería alrededor de mediados del siglo XVIII (Fig. 7.19). A diferencia del caso

anterior, tanto el mazo (martinete) como los fuelles estaban accionados por medio de energía hidráulica. Este equipamiento requería, por un lado, que la fábrica se encontrara próxima a un curso de agua permanente; y, por el otro, de una considerable inversión inicial de capital. La producción tendía a estar concentrada en un número reducido de fábricas de estas características, que empleaban a una gran cantidad de hombres. Estos grandes establecimientos funcionaron principalmente en Inglaterra y Francia, no así en España, donde las anclas utilizadas en los navíos de la armada se fabricaron en talleres más modestos (en lo que a cantidad de personal e instrumental respecta), sobre la base de conocimientos y prácticas de fuerte raigambre local.

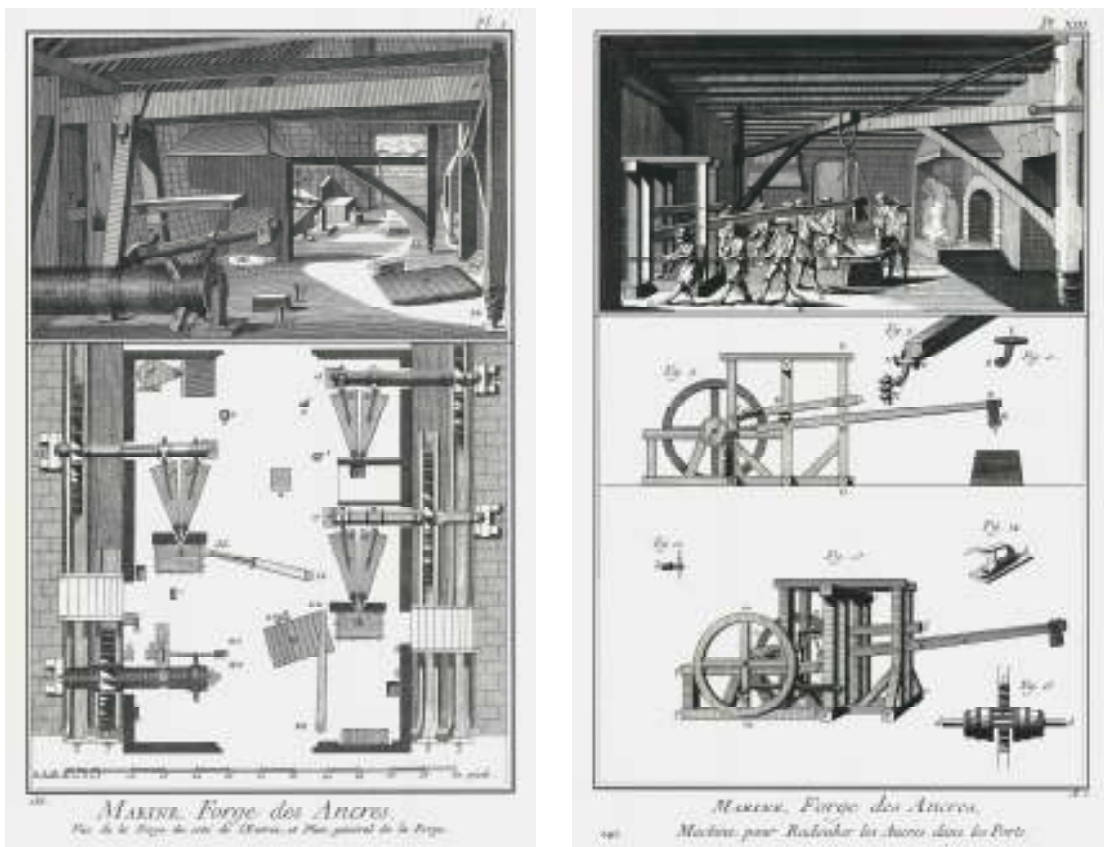


FIGURA 7.19 – FÁBRICA DE ANCLAS.

Representaciones del interior de una fábrica de anclas y de la maquinaria allí empleada (martinetes y fuelles accionados por medio de energía hidráulica).

Fuente: Diderot y d'Alembert (1769), *Marine, Forge des Ancres*, Láminas 1 y 13.

En Inglaterra, durante la época que nos ocupa la organización de la producción de anclas para los barcos de guerra estuvo controlada directamente —con algunas excepciones— por la Real Armada. Debido a los inconvenientes suscitados por varias piezas de mala calidad, a principios del siglo XVIII el Consejo Naval resolvió que los ancoreros contratados trabajasen de forma permanente dentro de los astilleros de la armada, supervisados por oficiales del estado. Asimismo, se sugirió que la producción de las piezas de mayor porte estuviera exclusivamente a cargo de esta última y que las ancorerías privadas continuaran suministrando las de menores dimensiones. Los contratos no siempre fueron favorables para los ancoreros privados, que muchas veces encontraron mayor rentabilidad en el ámbito de la marina mercante (véase Jobling 1993:86,87).

Durante la primera mitad del siglo XVIII el astillero de Deptford predominó en la producción de anclas para la Real Armada. Hacia 1748, allí habían 3 maestros ancoreros (*master anchorsmiths*), 12 contramaestres (*foremen smiths*) y 88 maceros o martilladores (*hammermen*). Pero debido a la demanda creciente de anclas para los nuevos barcos de guerra, la producción de anclas en los demás astilleros de la armada, i.e. Chatham, Woolwich, Portsmouth, Plymouth y Sheerness se expandió considerablemente durante la segunda mitad de la centuria (Jobling 1993:95).

Las principales forjas de Francia adonde se producían anclas para abastecer a la Marina de Guerra durante el siglo XVIII fueron las de Cosne y Guérgny, en Nièvre (región de Borgoña). En esta última localidad, rica en minerales de hierro y bosques, el maestro de forja Babaud de la Chaussade (1706-1792) montó las *Forges Royales*, que fueron adquiridas por el Rey antes de la Revolución, en 1781 (Taillemite 2003:455).

España contó con varias instalaciones dedicadas a la fabricación de anclas. En 1751, en el marco del plan de renovación naval emprendido por el Marqués de la Ensenada, Juan Fernández de Isla montó en Marrón una usina adonde se forjaron anclas para los Reales Bajelos. Esta demandó parte importante de la producción de hierro forjado de Cantabria (Corbera Millán 1999:48; Palacio Ramos 1999:147). Parte importante del abastecimiento dependió de ferrones que tenían a cargo una o varias *oficinas* (fábricas de anclas) privadas. El centro geográfico de producción de anclas para la Real Armada durante el siglo XVIII y parte del XIX fue la región de

los alrededores de San Sebastián, desde Aia y Orío, pasando por Usurbil y Hernani, hasta llegar a Rentería (Guipúzcoa, País Vasco). Esta industria, que llegó a ser competitiva en los mercados internacionales y a producir anclas para los navíos de línea españoles, tuvo su auge a partir de la década de 1750, aunque hundía sus raíces en los conocimientos adquiridos por especialistas de la región desde el siglo xvi. La producción de anclas grandes en Guipúzcoa, que hasta principios del 1700 continuaron importándose, estuvo vinculada con el énfasis puesto por los Borbones en la reconstrucción de la armada, así como con un cambio en la política mercantilista de la Corona, que optó por incentivar el desarrollo de las industrias locales. El maestro ancorero Juan Fermín de Guilisasti, responsable de la fabricación de anclas para la armada entre 1738 y 1750, cumplió un rol destacado dentro de este contexto. A principios de la década de 1730 visitó Holanda, donde pudo tomar conocimiento de las técnicas allí empleadas. A partir de esta estancia habría introducido en su ferrería de Arrazubia (Aia, Guipúzcoa) algunas mejoras que le permitieron producir anclas de mayor porte (Carrión Arregui 1995:199-205; véanse también las referencias de la época sobre Guilisasti en Egaña 1788:158,159). Más adelante volveremos sobre este punto, a propósito del proceso de forja y la calidad de las anclas.

En líneas generales, las instalaciones de las *oficinas* de anclas consistían en dos fraguas, que permitían calentar de forma simultánea e independiente los tochos de hierro que debían unirse, un yunque y unas carboneras. Hacia mediados del siglo xviii, para producir un ancla de 58 quintales (castellanos) hacían falta unos 10 hombres (8 martilladores y 2 maestros) y 24 días. Las estimaciones de tiempo y número de operarios necesarios para producir anclas en diferentes momentos del siglo xviii sugieren que, con los años, hubo un incremento de la productividad del trabajo. Muchas de estas ancorerías se autoabastecían del hierro de la zona. Allí se reducía el mineral y se forjaban los tochos con que luego se hacían las anclas. Una ventaja de este sistema es que se podía trabajar sobre aquellos antes de que se enfriaran del todo, lo que suponía un ahorro importante de combustible (Carrión Arregui 1995:205-207).

En 1750, la Corona realizó un asiento con los dueños de las ferrerías ubicadas en Urumea (Hernani), en el que estos se comprometían a entregar 5.000 quintales (castellanos) de anclas al año, durante un plazo de cuatro años que luego se

extendió por otros cuatro. La producción de anclas en este tiempo estuvo impulsada tanto por el Estado como por la demanda exterior, principalmente de Francia (para su Marina Real). A mediados de la década de 1760 se realizó un nuevo asiento con Martín Felipe de Barandiaran y José Joaquín de Egaña, por una suma semejante de quintales al año. Tenían bajo su control varias ferrerías y al menos media docena de oficinas de anclas; dirigían directamente algunas, a la vez que mantenían convenios con otras instalaciones de la zona a fin de honrar su contrato. Otros ferrones lograron asientos con la armada tiempo después, aunque esta realizaba encargos simultáneos a varias ancorerías, lo que le permitía cubrir sus necesidades con rapidez. La producción de anclas de la región decayó hacia la década de 1790, con el descenso de la construcción de barcos, entre otros factores. Y pese a la continuidad de algunas ancorerías, el proceso de decadencia de esta empresa, otrora pujante, se vio acentuado durante las primeras décadas del siglo XIX, luego de la Batalla de Trafalgar y la pérdida de las colonias ultramarinas (Carrión Arregui 1995:208-212).

Especificaciones sobre el proceso de forjado

Forjar un ancla era una actividad compleja. En el siglo XVIII, las partes principales, i.e. la caña y los brazos, se obtenían por separado y luego se soldaban a golpe de martillo. Esta tarea dependía, fundamentalmente, de la experticia de los artesanos (Pering 1819: 18). En aquel tiempo no era posible obtener grandes lingotes o tochos de hierro, razón por la que cada una de las partes principales de las anclas de mayor tamaño (las que llevaba un navío) se elaboraba a partir de varias barras de hierro, que se calentaban y soldaban entre sí. En términos generales, así se trabajaba en todas las ancorerías de las potencias marítimas de Europa occidental. Sin embargo, podemos establecer una distinción entre dos modalidades diferentes de trabajo, según el método y las técnicas utilizadas por los herreros especializados para dar forma a las partes y luego unir las entre sí. Veamos primero la que se utilizaba en Inglaterra, Francia y Holanda, que suele encontrarse descrita en la bibliografía con mayor frecuencia (e.g. Steel 1794).

En estos países, la caña y los brazos de las anclas de mayor porte se realizaban soldando atadillos o paquetes de barras largas de hierro, que tenían la longitud de la parte en cuestión. La cantidad de barras de cada haz dependía del tamaño del ancla (Figura 7.20).²⁰ Esta operación se realizaba en caliente, por medio de martillos mecánicos (martinetes). Estos estaban accionados con energía hidráulica o, si no había suministro suficiente de agua, de forma manual (Curryer 1999:62-64).²¹ Las partes así obtenidas se calentaban nuevamente y se soldaban por martillado, como también podemos apreciar en las láminas de *La Enciclopedia*. En la figura 7.21 reproducimos dos etapas de este proceso de forja: (a) terminación de la caña (forja con martinete); (b) soldadura del mapa a uno de los brazos (forja manual). Los brazos se unían a la caña por medio de encastre y martillado, mediante el uso de martinete (véase más abajo). Durante esta instancia, el espacio que quedaba entre ambas partes a uno y otro lado era cubierto mediante tiras de hierro. Finalmente, los operarios desbastaban manualmente la superficie para eliminar las imperfecciones y colocaban el cepo de madera.

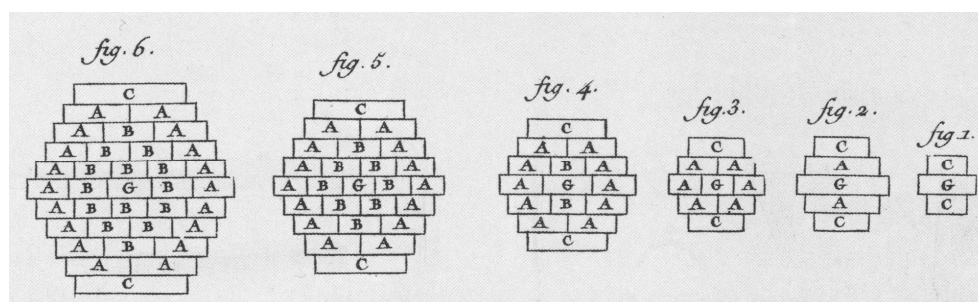


FIGURA 7.20 – PAQUETES DE BARRAS DE HIERRO.

Configuración de los paquetes de barras de hierro (corte transversal al eje longitudinal) utilizada para la fabricación de anclas de distinto porte: 1) 100 a 200 libras; 2) 300 a 400 libras; 3) 500 a 800 libras; 4) 900 a 2.000 libras; 5) 2.100 a 5.000 libras y 6) 5.100 a 8.000 libras. Las letras indican el tipo de barra: (g) *gouvernail*; (c) *couvertures*; (a) *barres à talon* y (b) *barres du milieu*.

Fuente: Diderot y d'Alembert (1769), *Marine, Forge des Ancres*, Lámina 6.

²⁰ La cantidad de segmentos liados guardaba relación con el tamaño de cada una de las partes del ancla, así como con su porte. Steel señaló que la elección del número de barras necesarias estaba regulada por la experiencia (Steel 1794:78). Las partes de las anclas más pequeñas (de menos de 10 quintales) por lo general se producían a partir de una barra de hierro forjado (Jobling 1993:85).

²¹ Al parecer, varias grandes anclas realizadas en Guipúzcoa durante la primera mitad del siglo XVIII, bajo la supervisión del maestro ancorero francés Bernardo Barriolo, fueron soldadas a golpe de martillo movido a brazo (Carrión Arregui 1998:551).

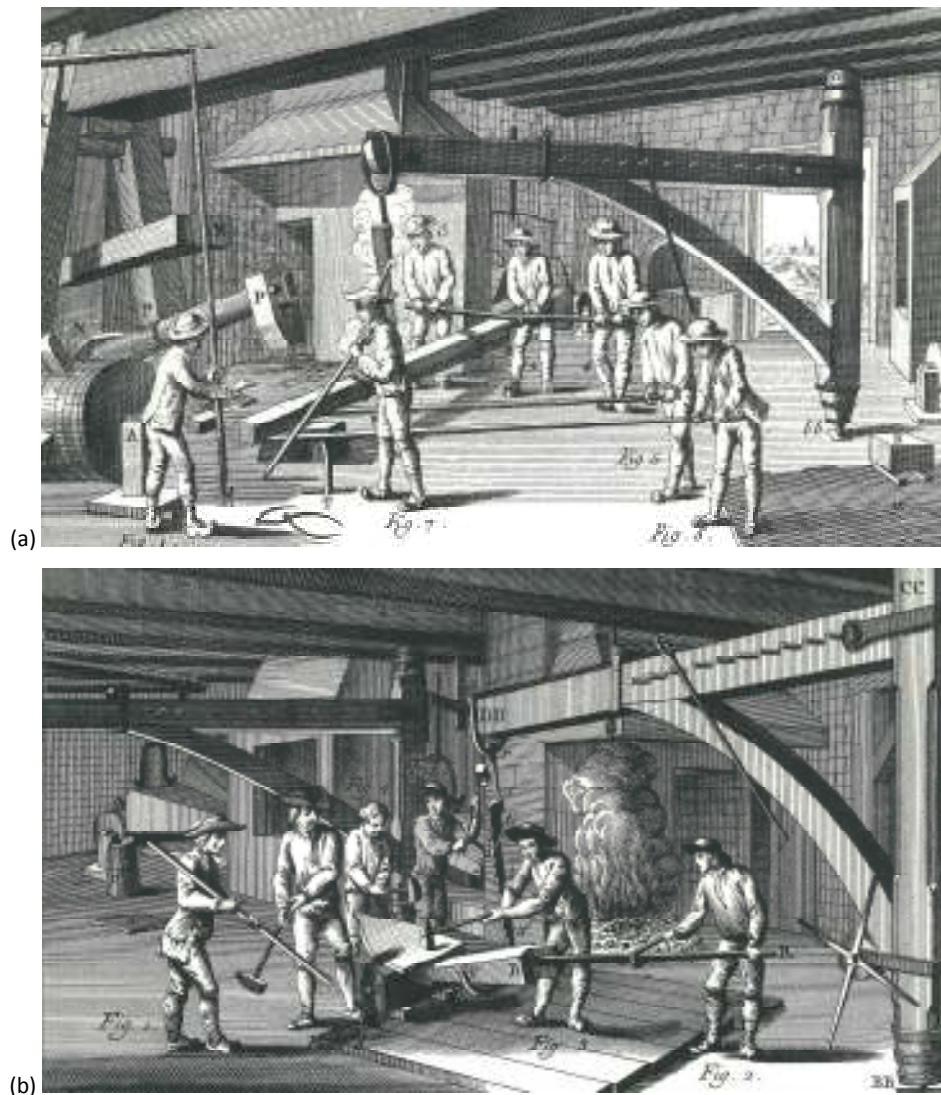


FIGURA 7.21 – TRABAJOS DE FORJA DE UN ANCLA.

Operaciones de forjado en caliente de un ancla: (a) terminación de la caña; (b) soldadura del mapa a uno de los brazos.

Fuente: Diderot y d'Alembert (1769), *Marine, Forge des Ancres*, parte superior de las láminas 7 y 9.

Es probable que la manufactura de anclas haya representado el mayor desarrollo de la tecnología de forjado en aquel entonces. No obstante, los medios técnicos utilizados para manipular y forjar grandes masas de hierro presentaban algunos inconvenientes: era extremadamente difícil lograr por medio del martillado una completa unión entre los metales (soldadura por forja), el

calentamiento de las superficies de contacto no era uniforme, no se disponía de métodos de detección de fallas internas (las barras solían quedar parcialmente soldadas) y el hierro utilizado en muchos casos no era de buena calidad (Jobling 1993:84-87).

Con relación a lo anterior, uno de los inconvenientes más importantes era la debilidad que las piezas presentaban interiormente. Los ancoreros, que estaban al corriente de los puntos de mayor estrés, procuraban tener especial cuidado durante la manufactura, y solían reforzar las zonas más comprometidas con metal extra (Jobling 1993:81). No obstante, soldar apropiadamente las barras de hierro que daban forma a la caña y los brazos era una tarea ardua, muy difícil de alcanzar (incluso utilizando los martinets hidráulicos). Debe tenerse en cuenta además que para facilitar la unión de las barras, estas debían tener un perfil regular y estar bien escuadradas. Estas cualidades que no eran sencillas de lograr en una ferrería típica y las funderías, que contaban con el equipamiento necesario, no eran numerosas, sobre todo fuera de Gran Bretaña (véase el capítulo 6). Este inconveniente fue resaltado por el ancorero español Guilisasti, en 1744, y por el inspector de la fábrica de anclas de Hernani, Francisco Antonio de Oquendo, que le transmitió una impresión semejante al Marqués de la Ensenada en 1752 (véase Carrión Arregui 1995:203). Refiriéndose a la producción de anclas en Inglaterra, Francia y Holanda, Oquendo notó que:

“Este atadillo de barras van calentando hasta que lleguen a unirse todas ellas, aunque a la verdad será quasi inasequible el hazer bien perfectamente esta operación. Después le ponen por encima yaplas o planchas caldeadas [hechas huasca], y por este medio, como quedan cubiertas aquellas barras, es imposible de reconocer si están bien o mal unidas” (Oquendo 1752, citado en Carrión Arregui 1995:203,204).

En las oficinas de anclas de la región guipuzcoana se utilizaba un método más lento e intensivo con respecto a la mano de obra necesaria, pero que a la vez requería poca inversión e infraestructura. El procedimiento consistía en soldar tochos cortos y gruesos, que se calentaban por separado (uno en cada fragua) y unían a fuerza de martillo (sin energía hidráulica) hasta lograr formar el largo necesario de la caña o los brazos. De este modo era más fácil verificar que la

soldadura entre las superficies de los fierros estuviera bien hecha. Al respecto, la introducción del carbón de piedra (carbón mineral) por parte de Guilisasti fue el elemento clave que permitió lograr una soldadura adecuada para fabricar las grandes piezas con que se abasteció la Real Armada española durante décadas. En cuanto al equipo necesario para forjar las anclas de considerable magnitud, un relato oficial de la época precisa que el obrador que tenía Guilisasti en Aia contaba con un mazo de unas 18 a 20 arrobas, i.e. ca. 200 kg (Carrión Arregui 1995:202,204,205; 1998:552,553).²²

La correcta unión de las partes era un aspecto fundamental del proceso de fabricación, debido a las exigencias mecánicas que este tipo de elementos debían tolerar durante su uso. Ya vimos que uno de los sectores más afectados por estos esfuerzos era adonde los brazos se unían con la caña. Conscientes de ello, los ancoreros ponían especial énfasis en reforzar el área. La caña terminaba por su parte inferior en una espiga, que servía para empalmar los brazos. Estos, que también tenían un rebaje en su base, se soldaban uno a la vez a cada lado de la caña. La forma de la junta podía ser en bisel (junta oblicua) o a tope (junta recta).

La información histórica y arqueológica relevada sugiere que estas variantes responden a modalidades de producción de diferentes regiones. Con respecto a la primera, el ancla perteneciente al *HMB Endeavour* (1764-1778), barco comandado por James Cook en su primer viaje al Pacífico (1768-1771), es ilustrativa. Durante este viaje, el barco encalló en la Gran Barrera de Coral, al Noreste de Australia, adonde la tripulación debió echar por la borda una de las seis anclas (la sencilla), seis cañones y otros objetos, a fin de zafar de la varadura. El ancla fue localizada y recuperada en 1971, al poco tiempo de haber sido extraídos los otros materiales. El examen metalúrgico de la pieza, llevado a cabo por Samuels, arrojó luz sobre su fabricación. En lo que a la unión de los brazos con la caña respecta, la observación macroscópica y por medio de radiografía permitió distinguir la configuración de las partes y reconstruir el proceso de empalme. El tipo de junta utilizado (en bisel) dejaba un espacio entre la lengüeta de la caña y cada uno de los brazos, que era

²² Las referencias acerca de las dimensiones de los mazos utilizados en las usinas metalúrgicas del siglo XVIII son escasas. Martínez y Bohigas Roldán estimaron que la cabeza del mazo que pertenecía a la ferrería de Cades, en el municipio cántabro de Herrerías, pudo pesar unos 500 kg y, levantándose entre 50 y 80 cm del suelo, tener una cadencia entre 80 y 150 golpes por minuto (Martínez y Bohigas Roldán 1999:56).

rellenado con trozos de hierro. Debido a las limitaciones de la forma de los martinets, es probable que esta última operación de soldadura fuese realizada manualmente. El ancla del *Endeavour* muestra que se emplearon dos planchas de refuerzo a cada lado de la unión; aun así, quedaron algunas cavidades internas. El análisis radiográfico indicó asimismo que, en algunos sectores del ancla, las barras con las que fueron hechas las principales partes no estaban bien soldadas entre sí (Samuels 1992:81-86). Al respecto, también podemos citar el caso de un ancla que se encuentra en la Prefectura Naval de Puerto Deseado (Provincia de Santa Cruz), y que fue atribuida a la *HMS Swift* (1770). Esta pieza presenta indicios de un proceso de forja de similares características al empleado para fabricar el ancla del *Endeavour* (véase el anexo 6). En ambos casos, gracias al proceso de corrosión superficial que afectó al hierro, se reconocieron a ojo desnudo las fibras del material. Ello permitió dar cuenta del modo en que se superponen los brazos a la caña, y apreciar el sector con material de relleno, que claramente exhibe una orientación diferente a la de aquellos (Fig. 7.22).²³ El uso de varias planchas para la elaboración de las palmas también puede apreciarse a simple vista en estas dos anclas.

En las láminas 8 y 10 de la sección *Marine, Forge des Ancres* de *La Enciclopedia*, a la que hemos hecho referencia previamente, se ilustran la forma de la caña y los brazos, y el modo de unión entre estos. A diferencia de las anclas antes descriptas, la lengüeta de la caña y el rebaje de los brazos eran rectos y, por ende, también lo era la forma de la junta. Aun cuando este tipo de encaje (a tope) suponía un contacto más pleno entre la superficie de las partes, a ambos lados del ancla quedaba cierto espacio vacío tanto entre la base de la caña y uno de los brazos, como entre los dos brazos, tal como se aprecia en la lámina 10 (Fig. 7.23). Esta hendedura debía ser rellenada, como vimos anteriormente. El espacio en cuestión, a la luz de la información consultada, era bastante más estrecho que en el caso del empalme en bisel.

²³ Light (2000) resaltó la importancia que tiene el conocimiento de las especificidades del trabajo manual del hierro forjado para el análisis de objetos históricos. En este sentido, las fibras que presenta este material (que tienen una apariencia similar a las vetas de la madera) constituyen evidencia singular para estudiar su fabricación.

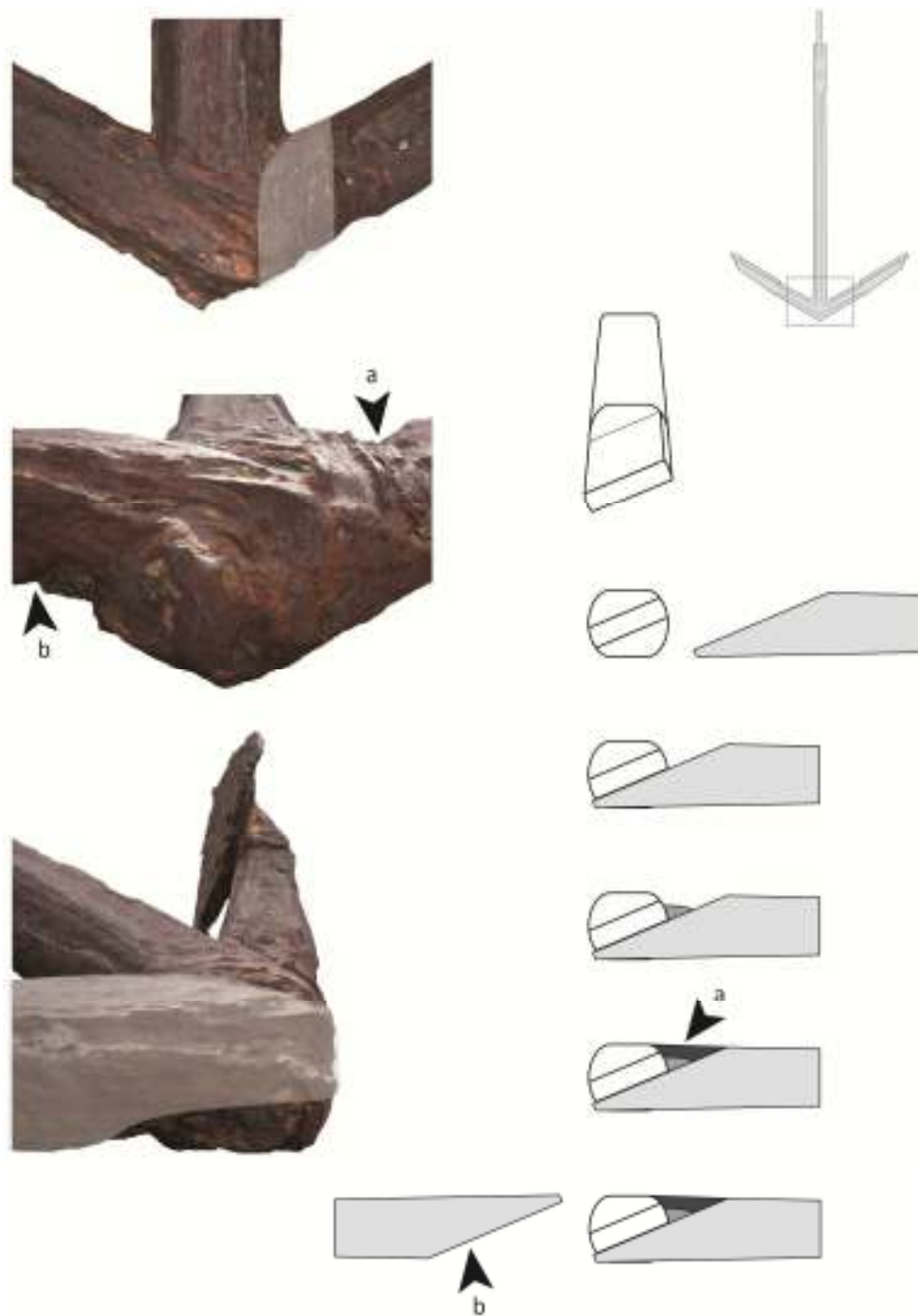


FIGURA 7.22 – EMPALME EN BISEL DE LOS BRAZOS A LA CAÑA.

Imágenes del ancla hallada en inmediaciones del sitio *Swift* (1770) y diagrama del empalme en bisel de los brazos a la caña, típico de las piezas británicas del siglo XVIII. Este último fue elaborado a partir de la ilustración del ancla perteneciente al *Endeavour* (Samuels 1992: Fig. 15). Las flechas indican: la zona de refuerzo (a) y el bisel de uno de los brazos (b). Estos rasgos también están resaltados en las figuras superior e inferior de la izquierda.

Fotos: N. Ciarlo 2009. Reproducción autorizada, cortesía del PROAS-INAPL.

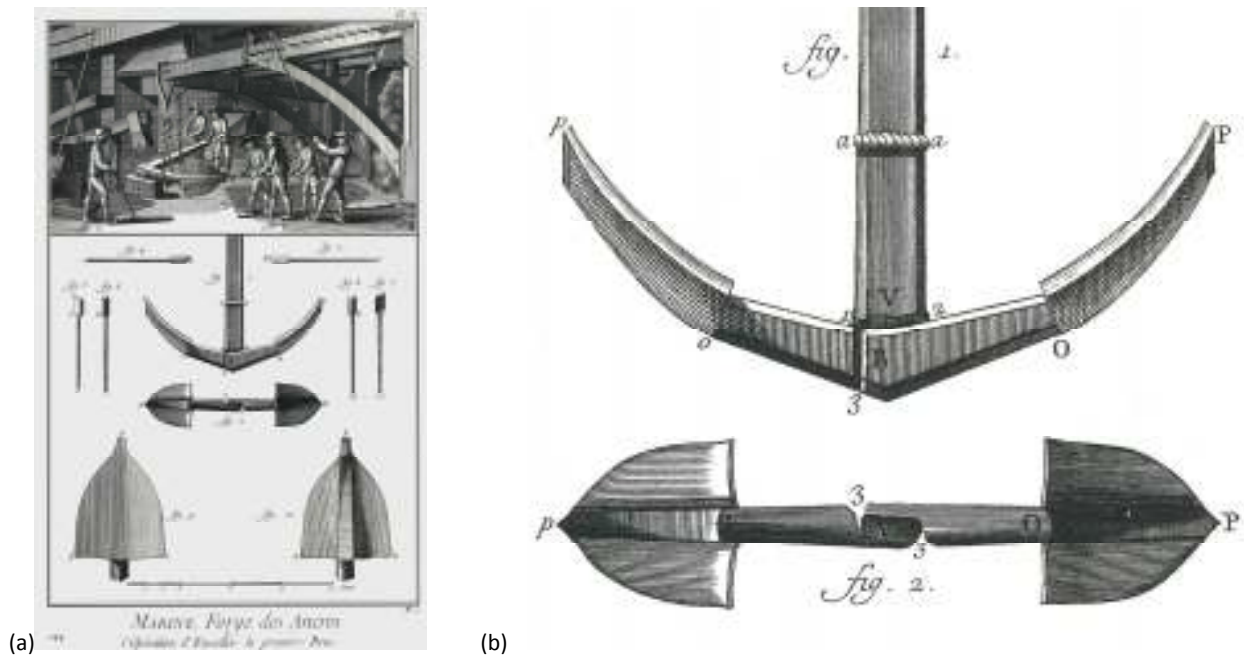


FIGURA 7.23 – EMPALME A TOPE DE LOS BRAZOS A LA CAÑA.

Modalidad de unión de los brazos a la caña de un ancla francesa: (a) véase la parte superior, adonde se ilustra la instancia inicial del proceso de forja de uno de los brazos, mediante el uso de un martinete hidráulico; y (b) detalle de las figs. 1 y 2 de la porción inferior de la lámina, en donde puede distinguirse la forma en que empalman los brazos y la caña.

Fuente: Diderot y d'Alembert (1769), *Marine, Forge des Ancres*, Lámina 10.

En cualquier caso, más allá de las diferencias entre uno y otro tipo de empalme, la clave consistía en lograr una adecuada soldadura de las partes y evitar que quedaran imperfecciones internas (e.g. zonas sin material o superficies parcialmente unidas), debido a las implicaciones negativas que estas tenían para la solidez de la pieza.

Pese a que existen ejemplares de anclas europeas de numerosos sitios arqueológicos del siglo XVIII localizados alrededor del globo, en la mayor parte de los casos las descripciones de las piezas son muy sucintas. A veces, los trabajos de carácter general reportan sus principales características morfológicas y dimensiones, e incluyen alguna ilustración (e.g. Cowan et al. 1975; Tarlton 1977; Stanbury 1994; Gesner 1998; von Arnim 1998; Nash 2001a; Rodgers et al. 2006; Breen y Forsythe 2007; Stevens y Burrows 2013; véase también Smith 2000, que

contiene un recuento de las anclas *Old Admiralty Longshank* localizadas en Port Jackson, Australia). Estas piezas constituyen una fuente de información de singular importancia para el estudio de la tecnología de la época, que puede y debería ser analizada en mayor profundidad. Algunas de las anclas recuperadas de los sitios —en varias ocasiones, fueron extraídas producto de intervenciones realizadas con antelación a las investigaciones arqueológicas— se encuentran hoy en día exhibidas en museos y otros establecimientos públicos.

Como anticipamos, los diferentes modos de producción de la época mencionados, dadas sus particularidades, pueden ser considerados indicadores para evaluar la procedencia de las piezas. Por la misma razón, en lo que al estudio de un ancla en particular refiere, la posibilidad de discernir entre uno y otro modo de elaboración estará sujeta a la metodología empleada. En particular, consideramos propicio el uso de la radiografía, técnica no destructiva mediante la que podría apreciarse la disposición de las zonas de unión de los diferentes segmentos forjados. La calidad de la materia prima utilizada, como veremos a continuación, constituye un elemento de juicio adicional para la investigación de este tipo de piezas. En este caso, su estudio también requiere de la aplicación de cierto instrumental analítico.

De la calidad de los productos para el servicio naval

Las anclas solían presentar notables diferencias de calidad, según el lugar adonde se producían y las características del material empleado. En una primera distinción, cabe notar que “cualesquiera fueran los defectos que exhibían las anclas en general, aquellas fabricadas en *el Servicio* [por parte de la Real Armada] eran muy superiores a las realizadas por contrato” (Cotsell 1856:9; la traducción es personal, pero el subrayado es original).

Blackburn enfatizó, dadas las consecuencias nefastas asociadas a la ineficacia de los elementos de fondeo, que todas las anclas de los barcos de guerra debían fabricarse con el mejor hierro que pudiera obtenerse (Blackburn 1817:183). Durante el siglo XVIII, el Almirantazgo británico requirió que las anclas de los barcos

de guerra fueran fabricadas únicamente con hierro procedente de Suecia o España, mientras que el hierro producido en Inglaterra era lo suficientemente bueno para destinarse a las piezas de los barcos mercantes (Samuels 1992:86).

La calidad del hierro de Suecia era bien conocida por aquel entonces. El hierro y el cobre constituían la principal riqueza del reino, que contaba con una cantidad abundante de minas. Desde Suecia, se exportaba hierro en barras y láminas, así como productos manufacturados tales como cañones, municiones, anclas y clavos (Boy 1840:724). Parte importante de la producción de hierro de este reino era absorbida por los británicos, cuya industria a su vez dependía fuertemente de estas importaciones (Kent 1973:59). El hierro más afamado era de Öregrund (*oregrounds iron*, en inglés), fabricado en varios talleres de Roslagen con mineral del yacimiento de Dannemora, en la provincia de Upland, al norte de Estocolmo. Los especialistas de la época consideraban que la superioridad de este material estaba relacionada con el contenido de manganeso (o silicio) asociado (Thomson 1813:191).

Por otro lado, ya en 1611 Tomás Cano había resaltado que los hierros de España o Nápoles eran muy suaves (dúctiles), lo que permitía que la caña fuera larga y se aferrase bien al fondo, no así los de Flandes, que eran agrios (frágiles) y por ende el asta debía hacerse más gruesa y corta, a la vez que era necesario reforzar la cruz, a fin de evitar que se rompiera. Por ello las anclas españolas no requerían ser tan pesadas y no se quebraban (o lo hacían menos) al ser sometidas a los esfuerzos del uso (Carrión Arregui 1995:200). En la memoria de Bernabé Antonio de Egaña, en la que dio cuenta detallada del estado de las cosas que importaba y producía la provincia de Guipúzcoa, describió al hierro extranjero como “mal sobado, peor forjado, vidrioso, agrio y saltadizo”. Y a continuación resaltó que “el clavo para ser bueno ha de doblarse antes, que quebrarse” (Egaña 1788:223).

Los ancoreros de las fábricas situadas en Guipúzcoa utilizaban mineral de la provincia vecina de Vizcaya, que era considerado de la mejor calidad y por ese motivo solicitado por la armada. Al respecto, Egaña precisó:

“La Vena con que se trabaja el Fierro, único ramo de la industria Guipuzcoana por la aptitud de sus montes, y aguas para este penoso trabajo, se conduce de la Montaña de Somorrostro en Byzcaya, y és cosa averiguada que aora [hace] un siglo se consideraban precisos

quatrocientos mil quintales machos de Véna al año, y en el dia puede regularse lo mismo para el surtido de las setenta y cinco Ferrerías, que hay en jurisdiccion de esta Provincia...” (Egaña 1788:18; la cursiva es personal).

En Inglaterra, en cambio, el hierro contenía un alto grado de impurezas.²⁴ Asimismo, el carbón utilizado allí como combustible durante el siglo XVIII (carbón de hulla) atentó contra la calidad del producto obtenido. La presencia de un elevado porcentaje de azufre y bajo contenido de manganeso en el hierro, lo tornaba frágil al ser trabajado a alta temperatura. Este estado era conocido como *red*, o *hot-short*. Por otro lado, el fósforo surtía un efecto nocivo similar, pero a bajas temperaturas, denominado *cold-short*.²⁵ Por tales razones, los herreros de los arsenales navales británicos emplearon el hierro de otras regiones.²⁶ Puntualmente, el producto de Öregrund fue considerado esencial para la producción de anclas en los astilleros de la Real Armada británica (Evans et al. 2002:652).

Recién a partir de fines del siglo XVIII y durante la siguiente centuria, con la incorporación del método de obtención de hierro por medio del proceso de pudelado (por el que Cort obtuvo una patente) y los subsiguientes adelantos en la siderurgia, como la forja mediante el uso de martinets accionados por máquinas de vapor, fue mejorando el proceso de producción y, consecuentemente, la calidad de las anclas fabricadas. Tal como destacó Jobling, pocos cambios ocurrieron hasta que se logró adelantar en la tecnología de forjado del hierro. En este sentido, las mejoras introducidas en las anclas dependieron estrechamente del avance en los conocimientos, habilidades y equipamiento relacionados con el proceso de forja (Jobling 1993:121).

Al respecto, la principal innovación está relacionada con el material. Las pruebas realizadas en varios astilleros británicos demostraron que la resistencia y

²⁴ Según lo reportado por Samuels, es esperable que el hierro producido en Inglaterra con mineral local no contuviera menos del 0,5% de fósforo y 0,03% de azufre (Samuels 1992:88).

²⁵ Este comportamiento fue destacado recién en 1783 por el químico sueco Bergman (Samuels 1992:90). No obstante, el conocimiento empírico de las bondades del hierro sueco y español por parte de los herreros especializados era muy anterior.

²⁶ La ubicación relativamente precisa de las minas explotadas para la obtención del mineral de hierro en Suecia y España puede resultar de interés a la hora de evaluar la procedencia de las anclas halladas en naufragios.

tenacidad del hierro pudelado eran similares —para algunos, incluso, superiores— a las del importado de Suecia. De resultas, este nuevo material pronto se introdujo en los astilleros reales para la fabricación de anclas y otros elementos navales (véase Curryer 1999:65-71, para mayor información sobre las declaraciones realizadas por los especialistas). Cort fue el primer ‘maestro del hierro’ británico en venderle hierro forjado a la Real Armada (Rodger 2006:376). Por otro lado, la introducción del vapor ocurrió un poco más tarde, alrededor de la década de 1840 (Samuels 1992:86).

Con relación a la calidad, también debemos mencionar que a principios del siglo XVIII William Sutherland hizo mención de la gran utilidad que tendría disponer de una maquinaria para testear las anclas antes de ser puestas en servicio, tanto para el dueño del barco como para el ancorero al que se le encomendaban las piezas. Curryer reprodujo el plano de una máquina de madera concebida en Inglaterra para tal fin, que data de 1704. No obstante, las primeras máquinas de este tipo empleadas por el gobierno son de 1833 (Curryer 1999:151). Durante el siglo XVIII, más allá de una revisión visual elemental, no existía un sistema establecido para probar la calidad de los productos (Jobling 1993:84). Un método indirecto para chequear la soldadura de las partes de un ancla consistía en golpear la caña con un fierro y escuchar el sonido. Oquendo, haciendo referencia a la extraordinaria calidad de las anclas producidas por Guilisasti, resaltó que estas sonaban como campanas (Carrión Arregui 1998:553).

Las anclas de bronce: un caso inusual

Las anclas modernas de bronce constituyen una *rara avis*, un caso de estudio interesante y poco desarrollado desde el punto de vista histórico o arqueológico. ¿Quiénes las emplearon y en qué circunstancias?, ¿por qué razones se fundieron con un material tan costoso, si durante siglos predominó el uso de anclas de hierro forjado?, ¿adónde se fabricaban y con qué aleación?, ¿cómo era el proceso y a cargo de quién estaba?, ¿qué ventajas o desventajas técnicas presentaban con respecto a las de hierro?... Estas son tan solo algunas de las cuestiones sobre las que vale la pena indagar.

Quien se interesó por estas desde temprano fue Jobling, que en 1989 sugirió, sobre la base de la evidencia escrita y de algunos ejemplares conocidos, que probablemente se utilizaran en los barcos españoles. Además, aventuró que podrían haber sido compradas en algún momento del siglo xvii en Macao, China, adonde los maestros fundidores de cañones Manuel Tavares Bocarro y su hijo, Pedro Dias Bocarro, se habían mudado en la década de 1620 (Jobling 1989:67). A falta de anclas de hierro, es probable que la fundición de anclas de bronce haya sido una opción más viable en la región de las Indias Orientales (Jobling 1993:98).

Algunas referencias históricas del siglo xviii hacen alusión a este tipo de anclas y, dado su carácter particular, también refieren a su procedencia. Murray resaltó que, a diferencia de las anclas de hierro forjado utilizadas en Inglaterra, Francia y Holanda, en España podrían ser vistas de cobre (bronce), así como en otras partes del Océano Pacífico (Murray 1765, citado en Jobling 1993:96).

Una de las anclas a las que hizo alusión Jobling se encuentra en Monterrey, California (Fig. 7.24). Posee una caña de 9 pies de largo y llama especialmente la atención por los signos que presenta entre el ojo y la encepadura. Estas marcas fueron identificadas como signos numéricos chinos, que representan la cifra 166 o 162 (Jobling 1989:67). La pieza fue recientemente estudiada por Delsescaux, que le atribuyó un origen español, posiblemente posterior a 1770, i.e. luego del establecimiento permanente de los españoles en la región. Respecto de las marcas, sin embargo, notó que los especialistas en epigrafía por él consultados no pudieron confirmar que se tratara de números; de hecho, consideraron que no son más que rasguños, del tipo que presenta en otras partes de la superficie. Especialistas de la Universidad de Arizona habrían brindado asistencia para el análisis metalúrgico de la pieza a fines de la década de 1940, aunque no se sabe más al respecto. Por otro lado, el historiador Robert Resse sostuvo que personal de la firma local Marine Technology – Oceans Unlimited analizó la pieza en 1966. Aunque en aquel momento los resultados no fueron muy satisfactorios, sobre la base de los datos obtenidos y por comparación con otro ejemplar (sobre el que no se tiene constancia), se aventuró que podría tratarse de un ancla inglesa de ca. 1600 (véase Delsescaux 2012:8,9).



FIGURA 7.24 – ANCLA DE BRONCE DE MONTERREY.

Imagen del ancla localizada en Fisherman's Wharf, Monterrey, California, EE.UU.

Fuente: Carol M. Highsmith 2012. The Jon B. Lovelace Collection of California Photographs, Library of Congress, Prints and Photographs Division, Washington, D.C., EE.UU.

Ambos autores mencionaron otra pieza de bronce, que se encuentra en San Jacinto, Isla Ticao (provincia de Masbate, Filipinas) y fue hallada, según Robert Marx, entre los restos del barco español *Santo Cristo de Burgos* (1726). Según la información suministrada por Marx, este ejemplar es similar en forma a las anclas inglesas patrón *Old Admiralty Longshank* y tiene una caña de unos 14 pies de largo. Existen diversos reportes que dan cuenta de otras anclas de bronce localizadas en sitios tales como las Filipinas, República Dominicana y la Isla de Cozumel, México. Sin embargo, tanto Jobling como Delsescaux reconocieron que no tuvieron acceso a evidencia material que les permitiera confirmar su existencia.²⁷

²⁷ En el año 2006, pescadores de La Sabana, un pueblo al este de Vargas (Venezuela) extrajeron varias piezas de artillería de bronce que habrían pertenecido a un barco del siglo XVII. Junto a estas, una pobladora declaró que también se recuperó un ancla de bronce (Rivera 2009).

Las evidencias disponibles sugieren que la producción y el uso de anclas de bronce fueron más el producto de una contingencia que de la práctica normal, y estuvieron a cargo de los españoles. Debe señalarse que, al igual que otros objetos de bronce, los pocos ejemplares que alguna vez se emplearon pudieron ulteriormente refundirse; sin remontarnos tanto, el capitán que recuperó el ancla de Monterrey en 1944 había decidido venderla como chatarra (Delsescaux 2012:8). Por tanto, la evidencia procedente de los sitios bajo el agua constituye una fuente de suma importancia para estudiar este tipo de piezas, sobre las que aún se conoce muy poco.

Los cambios del nuevo siglo

A partir del siglo XIX se introdujeron algunos cambios importantes, que afectaron tanto la forma como los materiales empleados. Ya vimos que desde finales del 1700 comenzó a emplearse en Gran Bretaña el hierro pudelado. Por otro lado, los nuevos diseños de anclas, junto con el reemplazo del cepo de madera por el de hierro y del cable de cáñamo por el de cadena de hierro, fueron otras de las novedades importantes.

El cepo de hierro fue introducido en la Real Armada británica en algún momento hacia el último cuarto del siglo XVIII. Se lo empleó primeramente en las anclas más pequeñas, i.e. los anclotes y en algunas anclas de espía (Jobling 1993:108-110).²⁸ Las anclas de mayores dimensiones continuaron utilizando el cepo de madera hasta entrado el siglo XIX.

La decisión de comenzar a utilizar cepos de hierro pudo haber estado relacionada en alguna medida al creciente deterioro que experimentaban los de madera debido a la acción de los organismos perforantes, a medida que los barcos se extendieron más allá de los límites dentro de los que estaban acostumbrados a navegar. Durante un tiempo, se hizo frente a este problema utilizando el sistema que también se aplicó para los cascos, i.e. forrando los maderos con planchas de

²⁸ En el Museo Naval de Montevideo, Uruguay, hay una pequeña ancla de 188 cm de alto con cepo de hierro, que habría pertenecido a la fragata *Nuestra Señora de la Luz* (1752), naufragada frente a las costas de dicha localidad.

cobre. No obstante, estas piezas requerían ser reemplazadas periódicamente. A comienzos del siglo XIX, las posibilidades que brindó la tecnología de producción del hierro permitieron que los cepos de este material, que ya habían sido probados con éxito en las anclas de menores dimensiones, se generalizaran. Ello iría acompañado de un cambio importante en el diseño de las anclas.

El reemplazo del cable utilizado hasta aquel entonces no sucedió de forma inmediata. Las primeras menciones acerca de la utilidad de emplear cadenas de hierro para el servicio naval británico (e.g. como amarras) datan del siglo XVII. Pero no fue sino hasta principios del siglo XIX que aumentó considerablemente el número de patentes de cadenas para diversos usos, entre estos como cables de anclas. La Real Armada británica realizó experimentaciones con cadenas hacia la década de 1810. En 1813, el reconocido fabricante Samuel Brown introdujo algunas mejoras, al soldar los eslabones lateralmente (en lugar de a tope) e incorporar un conrete. Las cadenas finalmente comenzaron a llevarse como complemento de los cables regulares en los barcos de guerra de 5to. rango y más, destinados a la navegación marítima, a partir de 1817. El reemplazo total de estos últimos ocurrió unos años más tarde, lo que demuestra la actitud cautelosa que adoptó el Almirantazgo británico frente a este nuevo elemento. Durante las Guerras Napoleónicas, algunos barcos franceses también fueron equipados con cables de cadena (Curryer 1999:96-104). Al parecer, en un principio las anclas con cadena fueron consideradas como un tipo alternativo. En el *Diccionario marítimo* de O'Scanlan figuran como anclas sin arganeo, ya que en lugar del arganeo tenían un grillete de hierro al que se sujetaba la cadena (O'Scanlan 1831:33).

SISTEMA DE ACHIQUE

Mantenimiento de un barco a flote

Las bombas de carena constituían un mecanismo de suma importancia entre los elementos que formaban parte del equipamiento de los barcos de madera. Eran utilizadas para achicar el agua que se acumulaba diariamente en la sentina (el

punto más bajo del interior de un barco), debido a las filtraciones, permitiendo mantener los barcos a flote (Sullivan 1986:23). En breve: “las bombas (...) eran la última defensa, esperanza y salvación de las vidas a bordo” (Oertling 1984:13). También se las implementaba a fin de abastecerse de agua de mar, para lavar las cubiertas y apagar incendios. Las había también portátiles, para trasladar de un lugar a otro del barco. Debido a la relevancia que tenían, se les prestaba mucha atención a su fabricación y mantenimiento a bordo (Falconer 1780: PUMP; Oertling 1984:iii-iv).

Las máquinas principales estaban colocadas en el sector medio de los barcos, cerca del palo mayor, y se extendían desde la sentina hasta la cubierta superior (Sullivan 1986:23). El *HMS Pandora* (1790), por caso, tenía cuatro bombas de sentina ubicadas alrededor del palo mayor. Originalmente, esta fragata fue equipada con dos bombas aspirantes y dos de cadena, del tipo Cole/Bentick, aunque en 1790 las dos primeras fueron reemplazadas por un modelo mejorado (McKay y Coleman 2010:10).

Bombas de sentina

Durante el siglo XVIII existieron básicamente dos clases diferentes de bombas, conocidas como aspirantes y de cadena (o rosario). Cada una, a su vez, incluía ejemplares con características específicas en cuanto a los materiales y la forma de sus componentes principales.

En líneas generales, las bombas de cadena tenían un principio de funcionamiento semejante al de la noria (máquina utilizada para elevar el agua siguiendo el principio del rosario hidráulico).²⁹ En el caso de las bombas aspirantes, el mecanismo consistía en hacer ascender el agua a través de un tubo, mediante la acción aspirante de un émbolo (válvula superior) que se desplazaba en el interior de aquel; el tubo poseía una válvula de retención en su parte media y el pistón era

²⁹ Para mayor información sobre el principio de funcionamiento y los distintos tipos y usos de este aparato en la historia, consultar Jacomy (1992:112-126).

accionado mediante una varilla y una palanca situada en la salida de la bomba (Falconer 1780: PUMP).

El uso de uno u otro tipo de bomba dependía por lo general del rango de la nave y su nacionalidad. Por caso, las bombas de cadena fueron ampliamente utilizadas por la mayoría de las armadas europeas a lo largo del siglo XVIII, a excepción de Francia.³⁰ Hacia la segunda mitad del siglo, los británicos rediseñaron la bomba de cadena, perfeccionando algunos de sus componentes principales (e.g. la cadena). Este tipo de bomba se convirtió en el equipamiento estándar de todos los barcos de la Real Armada británica; en particular, el modelo desarrollado en 1768 por William Cole y John Bentinck (bomba Cole/Bentinck), que se testeó e implementó durante la década siguiente. A principios del siglo XIX, William Collins introdujo otra mejora significativa en las bombas de rosario, al reemplazar la cadena de hierro por eslabones de latón (Oertling 1984:iii-iv, 78-79, 93-97). En McKay y Coleman pueden apreciarse los planos de los dos tipos de bombas, con detalles de las partes componentes de cada una (McKay y Coleman 2010:78-81).

Las principales bombas de los barcos de guerra franceses, en cambio, eran del tipo aspirante. El modelo característico —conocido como Bomba Real (*Royal Pump*), porque era el empleado en las naves de Su Majestad—, estaba hecho con dos tubos de madera y uno de bronce fundido (*corps de fonte*), que iba colocado entre ellos. Dentro de esta sección metálica operaban el pistón y la válvula superior, que podía ser de madera o bronce. La información de algunos naufragios de la época indica que el diámetro interior del tubo medía entre 16 y 17 cm. Estas bombas eran menos eficientes que las de cadena, aunque requerían menos hombres para ser operadas y su mantenimiento era más sencillo. Algunas innovaciones, en especial con relación a los materiales, permitirían mejorar sus prestaciones (Oertling 1984:57-60,80). Por caso, en el *Machault* (1761) se localizaron tres de las cuatro bombas aspirantes con que estaba equipado el barco, así como varias válvulas de recambio (Sullivan 1986:23).

A partir del último cuarto del siglo XVIII, los franceses también experimentaron con bombas del tipo inglés (de cadena o rosario). Durante algunos años, de hecho,

³⁰ El diccionario de Blanckley (1750: PUMPS) indica que las bombas de sentina eran de cadena, aunque a bordo también se empleaban otras, de succión, que oportunamente podían complementar a las primeras cuando no daban abasto.

estuvieron en uso bajo la supervisión del propio Cole. El primero en reportar esta bomba de cadena a la Marina de Guerra francesa fue d'Oraison, a quien mencionamos en el capítulo anterior, luego de su viaje a Inglaterra. Años más tarde, François Etienne, Conde de Rosily-Mesros viajó a través de Gran Bretaña entre los años 1775 y 1777. Estando allí, al igual que su predecesor, tuvo oportunidad de entrar a varios astilleros. Una de las innovaciones que le llamó la atención fue la máquina antes mencionada (Ferreiro 2007:20,21). El empleo efectivo de estas bombas en los navíos franceses a principios del siglo siguiente está atestiguado por el equipamiento del *Bucentaure* (1805). Durante los trabajos arqueológicos en el sitio fueron hallados los restos de dos bombas de achique, una aspirante y la otra de cadena (Fig. 7.25). En el *Fougueux* (1805) también está documentada la incorporación de una bomba de rosario en el año 1794, como parte de las importantes remodelaciones efectuadas en el astillero de Rochefort (Martí Solano 2008:86,87).

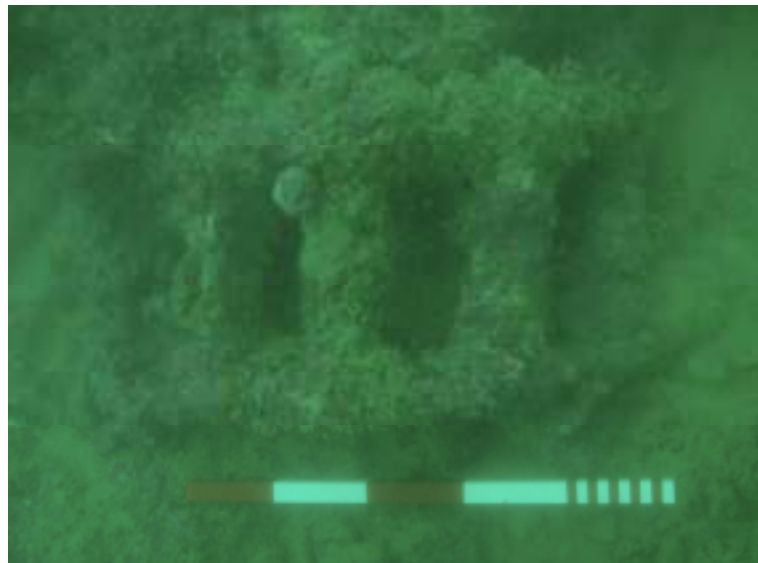


FIGURA 7.25 – TAMBOR DE LA CADENA DE UNA BOMBA DE SENTINA.

Imagen *in situ* de los restos de una bomba de cadena o rosario localizados en el sitio Bajo Chapital (*Bucentaure*).

Foto: CAS-IAPH 2005. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Tubos y válvulas de metal

El principal material utilizado para la fabricación de las bombas hasta el siglo XVIII fue la madera.³¹ Mientras esta predominó, el diseño de los componentes (e.g. las válvulas) permaneció prácticamente sin variaciones. En esta época comenzaron a utilizarse diversos metales, tales como plomo, cobre y bronce (aleación de cobre y estaño, en ocasiones con otros elementos minoritarios). El plomo se utilizó en primer término, durante gran parte del siglo XVIII, debido a que era fácil de obtener y de trabajar. Sin embargo, a medida que se incrementó la habilidad de elaborar el cobre y sus aleaciones, aun cuando eran más costosos, estos materiales se usaron cada vez más para la fabricación de tubos, válvulas y otros componentes. Gracias a ello, se introdujeron nuevos diseños de bombas aspirantes, más eficientes que los modelos precedentes. Las prestaciones de las bombas de tipo aspirante, que tenían un rendimiento menor que las de rosario, mejoraron notablemente (Oertling 1984:iii-iv, 81).

En el caso de Inglaterra, la introducción de caños de cobre se produjo recién al promediar el siglo XVIII. El diámetro de este tipo de tubos era mucho mayor que el de los de madera (alrededor del doble). De allí que el volumen de agua que podían desplazar estas bombas, a semejante recorrido del pistón, también era superior. A la par de la introducción de los caños metálicos, comenzaron a reemplazarse las válvulas de madera de las bombas aspirantes. El uso de estos nuevos componentes, cabe mencionar, no fue simultáneo en todos los casos. Estas bombas se volvieron más eficientes y reemplazaron a las otras en los barcos de guerra británicos de menor rango durante la primera mitad del siglo XIX (véase el caso del *HMS Pandora*, más abajo).³² Sin embargo, habida cuenta de las mejoras introducidas paralelamente en las bombas de cadena en varios de sus componentes, a los que referimos arriba, estas continuaron usándose en los demás barcos de guerra (Oertling 1984:62,78,79).

³¹ Este tipo de revestimiento fue reportado en varios sitios arqueológicos de la segunda mitad del siglo XVIII (e.g. Switzer 1998:185; Watts y Krivor 1995:101).

³² Existen evidencias del uso de bombas aspirantes en barcos británicos de modesto tamaño durante la segunda mitad del siglo XVIII. Por caso, entre los restos de un naufragio identificado como un *collier* (i.e. transporte de carbón, que habría servido para abastecer a las tropas británicas en Norteamérica), se localizó la válvula inferior de una bomba de sentina (Krivor 1994:43,44; Watts y Krivor 1995:106).

La evidencia arqueológica ofrece un panorama interesante sobre el tema. En particular, podemos mencionar el caso de la *HMS Swift* (1770). Las bombas de sentina de este barco correspondían a una variante del modelo instalado regularmente en los barcos británicos. Puntualmente: 1) la *Swift* estaba equipada con dos bombas aspirantes cuyos caños, al menos en su porción superior, son de bronce (véase el anexo 6); 2) el diámetro de estos tubos, a diferencia del de los utilizados en aquel entonces por los franceses, y más tarde por los británicos, es semejante al de los ejemplares de madera, que tenían una resistencia mecánica relativamente inferior (en este sentido, estarían sobredimensionados) y 3) las válvulas son similares a las que se funcionaban en las bombas con caños de madera. Lo anterior, teniendo en cuenta lo visto hasta ahora, es sugerente. A pesar de que los caños de las bombas de la *Swift* pueden ser considerados novedosos en cuanto al material, el diámetro de las piezas y las válvulas responden conceptualmente a los parámetros británicos tradicionales.

Al respecto, es necesario realizar una breve digresión con relación a la historia de la *Swift*. Este barco, junto con la *HMS Vulture*, fue construido siguiendo el diseño y las dimensiones de la *Epreuve*, una corbeta francesa que había sido capturada por los británicos a fines de 1760, durante la Guerra de los Siete Años. Es probable que el Almirantazgo haya decidido copiar el diseño de este barco debido a sus reconocidas cualidades favorables para la navegación, tarea que estuvo a cargo de Thomas Slade. Por tratarse de una copia, es probable que este se haya limitado a adaptar la forma de la obra viva del casco al sistema de dibujo empleado en la Real Armada británica, y que además haya introducido modificaciones en la obra muerta, la configuración interna y los detalles decorativos del barco, de acuerdo con la práctica constructiva inglesa. El singular diseño de esta clase, sugiere que la construcción de la *Swift* fue, al menos en parte, un proyecto de carácter experimental (Elkin et al. 2011:99,100).

Teniendo en cuenta los datos recabados del análisis de las bombas del barco, junto con la información histórica y arqueológica ya mencionada, consideramos probable que las bombas de carena hayan sido el resultado de una solución técnica para la que se tuvieron en consideración los aparatos empleados en los barcos franceses. Con relación a lo anterior, cabe destacar el caso del *Auguste* (1761), ex barco mercante francés apresado por los británicos en 1756. Entre sus restos se

halló la válvula inferior de una de las bombas aspirantes, similares a las utilizadas por los franceses (Canadian Parks Service 1992:58). En las últimas décadas del 1700 se realizaron varios cambios a fin de mejorar la eficiencia de las bombas de sentina. En 1789, Walter Taylor patentó una bomba aspirante que, entre otras novedades, tenía una cámara metálica en la sección superior. Dentro de esta se encontraban, en los respectivos extremos, las válvulas inferior y superior. Esta bomba pronto probó su eficacia y fue incorporada en algunos barcos; uno de estos fue el *HMS Pandora* (1791). Coleman (1988) reportó el hallazgo de algunos componentes de metal de este tipo de bomba en el sitio, entre los que cabe destacar una cámara de bronce compuesta por dos partes.

Entre los restos del *HMS Sirius* (1810), registrados por el equipo de buzos amateur del *Mauritius Underwater Group* en 1964, también se hallaron dos cilindros metálicos pertenecientes a las bombas del barco (en este caso, probablemente se trataba de los tubos de estas máquinas). Lamentablemente, los restos del sitio fueron dinamitados en 1968 por un grupo de buzos, con el objeto de extraer algunos objetos de bronce (von Arnim 1998:38).

SISTEMA DE GOBIERNO

La maniobrabilidad de un barco de guerra

En la introducción al capítulo dijimos que el principal mecanismo con que contaba un barco para su gobierno era el timón. De este dependía en última instancia la capacidad de maniobra, aspecto fundamental en circunstancias tales como un combate o temporal. La habilidad para gobernar adecuadamente durante un enfrentamiento entre flotas, podía ser decisiva. Maniobras arriesgadas como la ruptura de una línea en diferentes sectores demandaban un buen dominio de los buques atacantes. Ello también era primordial tanto para la persecución como la huida; en el primer caso, para posicionarse al alcance del enemigo y conseguir una línea de fuego aceptable y en el segundo, para evitarlo. Si se adoptaba la táctica de entrevero (o *melé*, a diferencia del característico combate en línea), la batalla

derivaba en una serie de combates individuales (parejos o de uno contra varios) en los que los barcos se veían exigidos a realizar rebuscados movimientos.

El timón de rueda

Este timón se manejaba por medio de una rueda. El giro de esta última accionaba un dispositivo que, a través de la caña, transmitía el movimiento a la pala. Una parte importante de este módulo intermedio era la telera o medio punto del timón. Esta pieza con forma de arco iba colocada en posición horizontal en el extremo de la caña, que la cortaba en su punto medio. Estaba accionada por los guardines del timón mediante un conjunto de poleas. Permitía comunicar el giro de la maza o cubo de la rueda (tambor) a la caña, que pivotaba de forma lateral desplazando la pala hacia uno u otro lado. Así, el barco podía virar a babor o a estribor (O'Scanlan 1831: RUEDA, TIMÓN). En la figura 7.26 mostramos un esquema de funcionamiento del sistema de gobierno de un barco británico de la segunda mitad del siglo XVIII.

Esta modalidad se introdujo en la Real Armada británica en algún momento hacia finales de la década de 1690. Revestía varias ventajas con respecto al sistema anterior, ya que permitía duplicar el ángulo de giro de la pala, un grupo de hasta diez hombres podía gobernar el barco en condiciones de mal tiempo y, dada la posición de la rueda en el alcázar, era posible mantener una buena perspectiva de las velas y la bitácora. Aunque los franceses pronto tomaron conocimiento de este adelanto, no lo adoptaron sino hasta treinta años más tarde (Rodger 2006:222). Desde entonces, no experimentó sustanciales modificaciones en cuanto al diseño a lo largo del período considerado (Fig. 7.27).

Los principales cambios estuvieron relacionados con la introducción del revestimiento de cobre (véase el capítulo 6), que afectó a la pala y a los componentes metálicos ubicados por debajo de la línea de flotación. Como mencionamos en la introducción, las evidencias arqueológicas de este tipo de elementos no son cuantiosas. A continuación veremos algunos de los hallazgos más significativos.

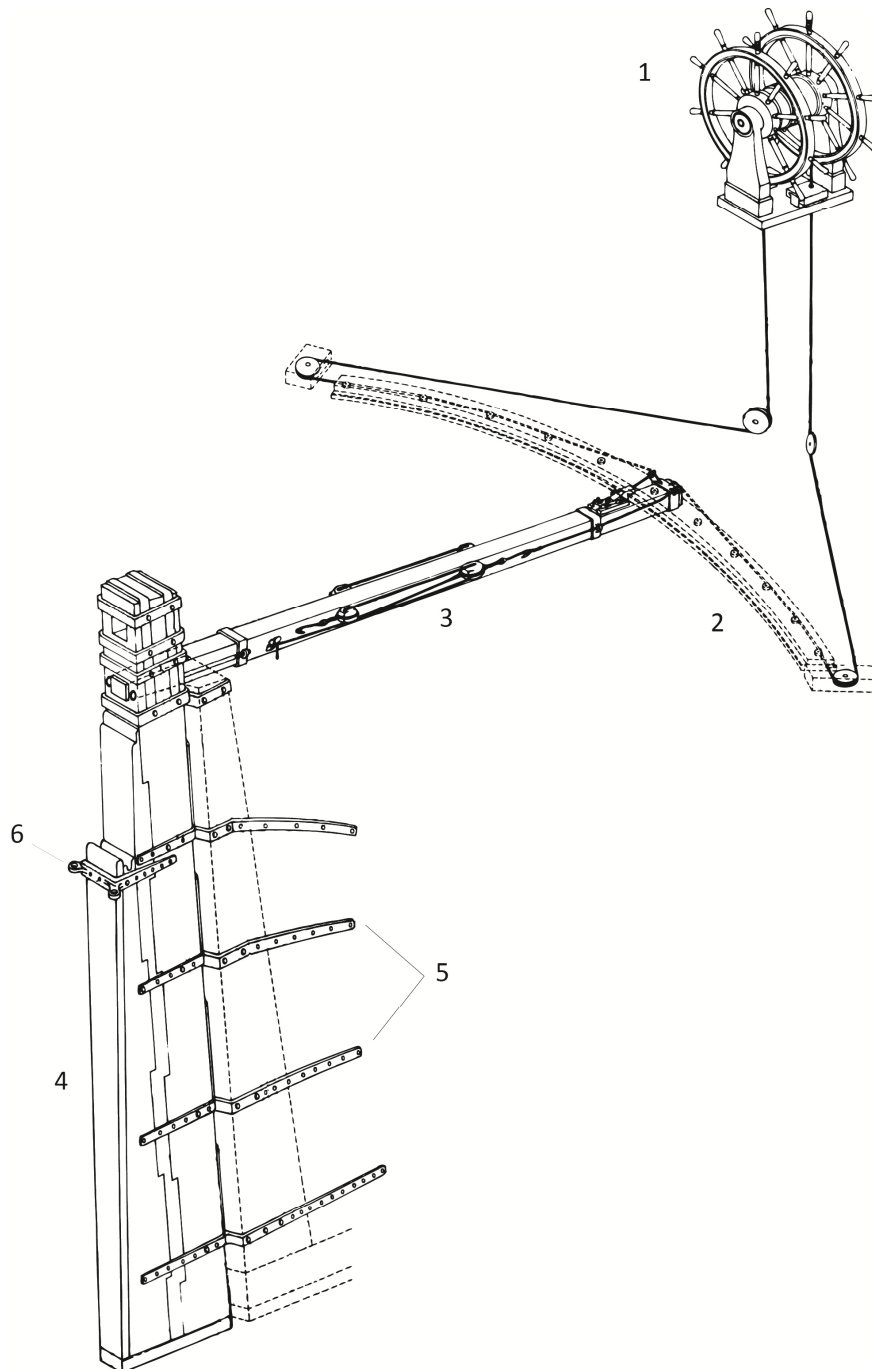


FIGURA 7.26 – ESQUEMA DEL SISTEMA DE GOBIERNO.

Representación del timón de rueda de una fragata británica de la segunda mitad del siglo XVIII. Referencias: 1) rueda; 2) telera; 3) caña; 4) pala; 5) goznes; 6) cáncamo de la cadena. Nótese el endentado de los maderos que forman la pala del timón.

Fuente: adaptado de MacKay y Coleman (2010:72).

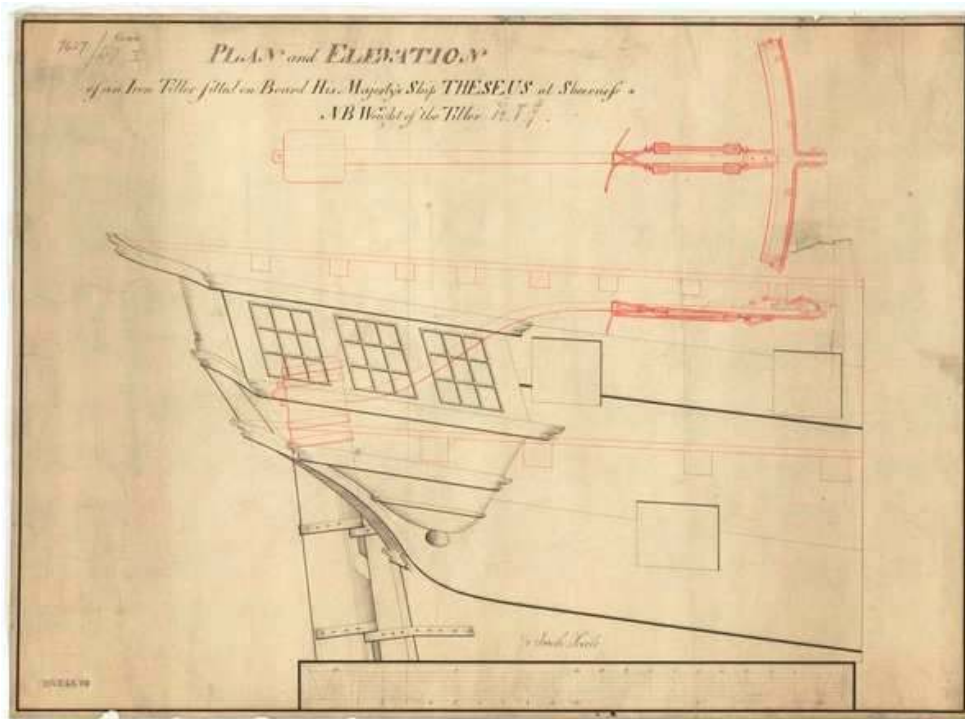


FIGURA 7.27 – TIMÓN Y CAÑA DEL *HMS THESEUS*.

Planta y vista superior del timón y caña de hierro (en rojo) montados en el navío británico de 3er. orden *HMS Theseus* en el año 1787, por personal del astillero de Sheerness. Dimensiones de la lámina: 37 x 50,3 cm.

Fuente: National Maritime Museum, Greenwich, Londres. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

El timón propiamente dicho, i.e. la pala (*rudder; gouvernail*) estaba formada por varios maderos. El principal, denominado madre, tenía el mismo grosor que el codaste y se extendía a todo lo largo del timón. El talón yacía a la altura de la quilla, mientras que la cabeza, adonde se introducía la caña, llegaba hasta la limera. A la parte interior de esta pieza iban empernados los machos de los goznes. La parte exterior (de popa) de la pala estaba formada por el azafrán: uno o varios maderos unidos entre sí que estaban endentados y empernados a la madre (véase Flynn 2006:59-61; para una descripción del timón de una fragata británica del siglo XVIII).

Los componentes metálicos

El sistema de gobierno de un barco tenía varios componentes de metal. El más importante era la caña de hierro, que iba colocada en la cabeza de la pala del timón. En el otro extremo, conocido como cuello de ganso, estaba unida a la telera.

En el sitio *HMS Swift* (1770) se encontraron los restos de la cabeza del timón del barco, que aún preserva un segmento de la caña de hierro. Esta porción del timón reviste especial interés, ya que da cuenta del modo en que estaba unida la caña a la pala (ángulo y fijación). Por otro lado, el examen metalográfico y de composición química de una muestra de la caña indicó que este componente fue fabricado con un material de muy buena calidad por medio de forjado. En función de las características registradas, es probable que para formar el cuerpo de la pieza se haya seguido un procedimiento similar al empleado en las anclas (por medio de la unión de varias barras de hierro). Las cualidades del hierro sugieren asimismo un posible origen extranjero. Ello es consistente con la información histórica sobre el uso de materia prima importada, sobre todo si tenemos en consideración la relevancia que tenía este elemento para la maniobra del barco (véase el anexo 6).

La pala del timón iba articulada con el codaste por medio de varios goznes. Cada una de estas piezas estaba formada por dos elementos: el macho (o pinzote) y la hembra. Los machos iban empernados a la pala del timón, mientras que las hembras se fijaban al codaste. Estas últimas tenían un orificio pasante, adonde se introducía la espiga de los primeros. Cada pieza tenía dos brazos con agujeros para los pernos de fijación que atravesaban la pala y el codaste. Los brazos de los machos eran paralelos, conforme al grueso de la pala, mientras que en las hembras tenían forma en v, más o menos abierta según la altura a la que se encontraban.

Hasta la introducción del aforro de cobre, los goznes empleados en los barcos eran de hierro. De allí en más, y por la misma razón que se reemplazó la clavazón de hierro de la obra viva, comenzaron a utilizarse goznes de cobre por debajo de la línea de flotación. El primer barco con este tipo de piezas, como ya comentamos, fue el *HMS Dolphin* (forrado en 1764). Luego del viaje alrededor del globo se corroboró que estas piezas no habían fallado; no obstante, mostraron considerable desgaste, debido a la blandura del cobre sin alear (Cock 2001:454). Ulteriormente, los goznes se fabricaron a medida por medio de fundición y colada, en una aleación

de cobre, estaño y zinc (Knight 1973:303). Al igual que el resto del fondo de las naves, la pala se revistió con cobre.

En la figura 7.28 ilustramos el timón del sitio Deltebre I (1813). Los pinzotes que se encontraban en contacto con el agua son de aleación de cobre y el superior, que no iba sumergido, es de hierro. La parte anterior de la pala, a la altura de los machos, estaba protegida con plomo.

Existen varios ejemplares de goznes procedentes de naufragios del siglo XVIII (e.g. Stanbury 1994; Campbell y Gesner 2000; Dajnowski 2013). La composición química de algunos de los machos y hembras recuperados del sitio *HMS Sirius* (1790) fue analizada por MacLeod.

◆ *HMS Sirius* (1790), ex *Berwick*

Componente	No.	Cu	Sn	Zn	Pb	Bi	As	Sb	Fe	Ni	Ag
Hembra (brazo)	NI 18	89,9	4,920	0,036	0,530	0,068	0,170	0,175	0,680	0,176	0,142
Macho	NI 16	92,6	5,050	0,027	0,350	0,020	0,290	0,103	0,001	0,087	0,099
Hembra (brazo)	NI 14	98,5	0,260	0,003	0,410	0,045	0,190	0,026	—	0,090	0,107
Macho (brazo)	NI 3	73,4	3,440	7,870	12,78	0,135	0,105	0,350	0,290	0,150	0,097
Macho (espiga)	NI 3	76,1	2,480	7,320	13,16	0,130	0,105	0,320	0,280	—	0,100

Análisis: AAS.

Referencias: MacLeod (1985:59); Stanbury (1994:103).

Nota: es posible que la pieza NI 3 no pertenezca a este barco (Stanbury 1994:27).

Componente	No.	Cu	Sn	Zn	Pb	Bi	As	Sb	Fe	Ni	Ag
Hembra (brazo)	NI 17	90,7	6,730	0,200	0,700	—	0,460	<0,01	<0,01	0,060	0,080
Hembra (brazo)	NI 18	89,6	6,720	0,200	0,400	—	0,310	0,020	<0,01	0,020	0,070
Hembra (brazo)	SI 87 ¹	92,1	6,530	0,200	0,300	—	0,330	0,090	0,010	0,040	0,060
Hembra (brazo)	NI 19	89,4	7,480	0,210	0,400	—	0,370	<0,01	0,020	0,030	0,070
Hembra (brazo)	SI 237 ²	89,4	6,990	0,190	0,300	—	0,470	0,110	0,020	0,020	0,080
Hembra / macho	SI 397 ³	98,8	0,110	0,200	0,600	—	0,290	<0,01	<0,01	0,020	0,090
Macho	NI 16	90,6	7,120	0,200	0,600	—	0,430	0,050	<0,01	0,070	0,070
Macho (espiga)	SI 86	89,3	8,590	0,190	0,300	—	0,400	<0,01	0,110	0,030	0,050

Análisis: ICP-AES.

1. Es parte de la pieza NI 18. // 2. Es parte de la pieza NI 19. // 3. Valores muy similares a los de la pieza NI 14.

Referencias: Stanbury (1994:103).

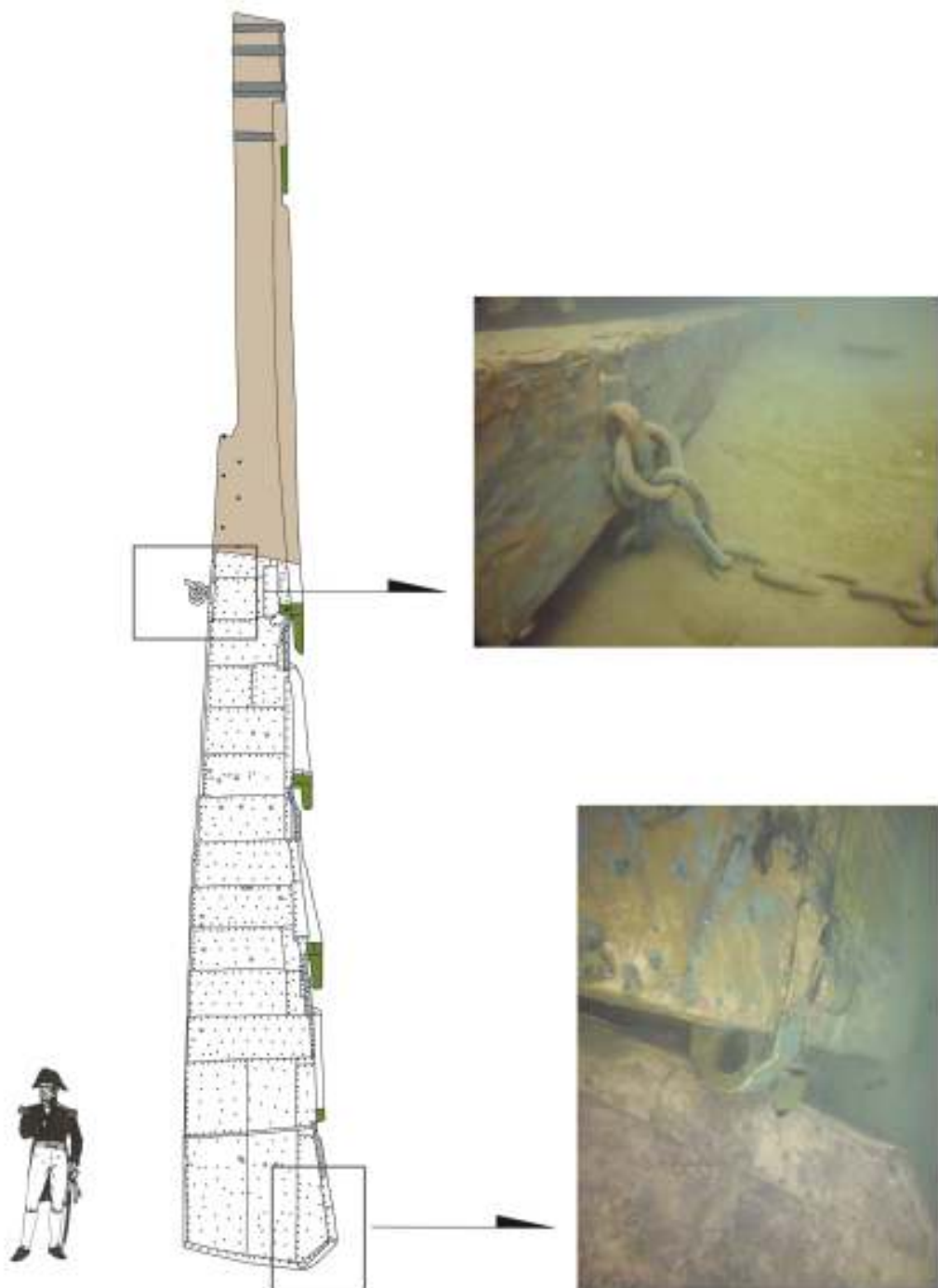


FIGURA 7.28 – TIMÓN DEL SITIO DELTEBRE I (1813).

Plano de la pieza (alzado: 9,5 m), en el que se aprecia el revestimiento metálico. A la derecha, fotos subacuáticas de las cadenas que aseguraban la pieza al casco (a los lados de la limera) y del pie del timón, junto a una de las hembras que iban sujetas al codaste.

Gráfico: R. Geli Mauri 2009. Fotos: CASC-MAC. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Los resultados anteriores indican, según lo esperado, que la mayoría de los goznes del timón fueron hechos en bronce, excepto por una de las piezas que es de cobre. La presencia de esta última llama la atención, por la razón que ya expusimos. Tal vez, teniendo en consideración el período experimental en que se construyó el barco, el uso de ambos tipos tuvo como meta examinar su relativa efectividad (McCarthy 2005:137). Por otro lado, este autor consideró que el contenido de plomo de los machos y hembras hallados en el sitio, pese a encontrarse por debajo del 1 % (salvo en la pieza NI 3, de atribución dudosa), habría reducido la fricción ocasionada por el movimiento de la articulación de los goznes (McCarthy 2005:136,137).

La pala del timón poseía un cáncamo de retención (*spectacle plate*) en su parte superior, debajo de la cabeza. Allí se fijaban dos tramos de cadena que servían como elemento de seguridad, en caso de que el timón se desmontara del codaste (véase la Fig. 7.28). En este caso también contamos con evidencia procedente del naufragio anterior. La pieza lleva inscripto el nombre original del barco (BERWICK) y, según la información documental, procede del astillero de Christopher Watson, Rotherhithe, Londres (Stanbury 1994:22-23). Los datos de composición química indican que fue hecha con una aleación de cobre y estaño:

◆ *HMS Sirius* (1790), ex *Berwick*

Cu	Sn	Zn	Pb	Bi	As	Sb	Fe	Ni	Ag
93,1	3,970	0,032	0,430	0,097	0,230	0,214	0,110	0,155	0,100

Análisis: AAS.

Referencias: MacLeod (1985:59); Stanbury (1994:103).

Por otro lado, con relación al mecanismo de accionamiento de la caña del timón, en el *HMS Pandora* (1791) se hallaron varias de las roldanas con un eje central de bronce y una chapa octogonal adosada, que fueron identificadas como rolletes de la telera (Campbell y Gesner 2000:63.64).

Tablas

TABLA 7.1 – CANTIDAD Y PESO DE LAS ANCLAS DE LOS BARCOS DE GUERRA BRITÁNICOS (1766).

Barcos		Anclas				
Rango	Cañones	No.	Tipo	Peso (cwt, qtr y lb)		
1	100	5	Leva	77	3	0
		1	Espía	20	0	0
		1	Anclote	10	0	0
2	90	5	Leva	71	3	0
		1	Espía	17	0	0
		1	Anclote	9	0	0
3	80	4	Leva	65	3	0
		1	Espía	16	0	0
		1	Anclote	8	2	0
4	70	4	Leva	56	0	0
		1	Espía	14	0	0
		1	Anclote	7	2	0
5	60	4	Leva	51	2	0
		1	Espía	12	0	0
		1	Anclote	6	0	0
6	50	4	Leva	46	2	0
		1	Espía	11	2	0
		1	Anclote	6	0	0
5	40	4	Leva	37	3	0
		1	Espía	9	2	0
		1	Anclote	5	0	0
6	24	4	Leva	29	1	0
		1	Espía	6	2	0
		1	Anclote	3	0	0
Corbetas	—	3	Leva	15	0	0
		1	Espía	7	0	0
		1	Anclote	3	2	0

Fuente: Sutherland 1766 (citado en Jobling 1993:101).

TABLA 7.2 – CANTIDAD Y PESO DE LAS ANCLAS DE LOS BARCOS DE GUERRA BRITÁNICOS (ORDENANZA DE 1786).

Barcos		Anclas			Barcos		Anclas		
Cañones	No.	Tipo	Peso (cwt y qtr)		Cañones	No.	Tipo	Peso (cwt y qtr)	
100	4	Leva	81	0	44	4	Leva	40	0
	1	Espía	21	0		1	Espía	10	0
	1	Anclote	10	2		1	Anclote	5	0
	1	Anclote	5	0		4	Leva	40	0
90	4	Leva	73	0	38	1	Espía	10	0
	1	Espía	18	0	1	Anclote	5	0	
	1	Anclote	9	0	4	Leva	40	0	
80 (3 puentes)	1	Anclote	4	2	36 (grande)	1	Espía	10	0
	4	Leva	73	0	1	Anclote	5	0	
	1	Espía	18	0	4	Leva	36	0	
	1	Anclote	9	0	1	Espía	9	0	
80 (2 puentes)	4	Leva	69	0	36 (pequeño)	1	Anclote	4	2
	1	Espía	17	0	4	Leva	33	0	
	1	Anclote	8	2	32	1	Espía	8	1
74 (1a. clase)	4	Leva	71	0	1	Anclote	4	0	
	1	Espía	17	2	4	Leva	31	0	
	1	Anclote	8	2	28	1	Espía	8	0
74 (2a. clase)	4	Leva	67	0	1	Anclote	4	0	
	1	Espía	16	0	4	Leva	29	2	
	1	Anclote	8	0	24	1	Espía	7	2
70	4	Leva	59	0	1	Anclote	3	2	
	1	Espía	25	0	4	Leva	25	0	
	1	Anclote	7	2	20	1	Espía	7	2
64	4	Leva	57	0	1	Anclote	3	2	
	1	Espía	15	0	3	Leva	20	0	
	1	Anclote	7	2	Corbeta (300 ton.)	1	Espía	7	0
60	4	Leva	53	0	1	Anclote	3	2	
	1	Espía	12	0	3	Leva	15	0	
	1	Anclote	6	0	Corbeta (200 ton.)	1	Espía	6	0
50	4	Leva	49	0	1	Anclote	3	0	
	1	Espía	11	0	3	Leva	12	0	
	1	Anclote	5	2	Corbeta (140 ton.)	1	Espía	5	0
...continua en la siguiente columna					1	Anclote	3	0	

Fuente: NMM, RUSI/57 y PRO, ADM 106/2509, No. 347 (citadas en Jobling 1993:105-106).

TABLA 7.3 – CANTIDAD Y PESO DE LAS ANCLAS DE LOS BARCOS DE GUERRA BRITÁNICOS (STEEL 1794).

Barcos ¹		Anclas			Barcos		Anclas		
Cañones	No.	Tipo	Peso (cwt y qtr)		Cañones	No.	Tipo	Peso (cwt y qtr)	
110 & 100	5 ²	Leva	81	0	44 & 38	4	Leva	40	0
	1	Espía	21	0		1	Espía	10	0
	1	Anclote	10	2		1	Anclote	5	0
98 & 90	5 ²	Leva	73	0	36	4	Leva	39	0
	1	Espía	18	0		1	Espía	9	0
	1	Anclote	9	0		1	Anclote	4	2
80 & 74	4	Leva	71	0	32	4	Leva	33	0
	1	Espía	17	2		1	Espía	8	1
	1	Anclote	8	2		1	Anclote	4	0
74	4	Leva	67	0	28	4	Leva	31	0
	1	Espía	16	0		1	Espía	8	0
	1	Anclote	8	0		1	Anclote	4	0
64	4	Leva	57	0	24	4	Leva	29	2
	1	Espía	15	0		1	Espía	7	2
	1	Anclote	7	2		1	Anclote	3	2
60	4	Leva	53	0	20	4	Leva	25	0
	1	Espía	12	0		1	Espía	7	2
	1	Anclote	6	0		1	Anclote	3	2
50	4	Leva	49	0	14	3	Leva	20	0
	1	Espía	11	0		1	Espía	7	0
	1	Anclote	5	2		1	Anclote	3	2

...continua en la siguiente columna

Fuente: Steel (1794:81).

Referencias:

1. No reproducimos los valores de las anclas con que estaban equipados los barcos de menor porte (corbetas y bergantines de 200 t).
2. La reducción oficial del número de anclas de leva que llevaban los navíos de primer y segundo rango (de 5 a 4) data de 1779 (Jobling 1993:103). Fue aplicada en las ordenanzas de 1786 (véase la Tabla 7.2).



Capítulo 8

La ARTILLERÍA

Aquí dirigimos la mira hacia la artillería que llevaban a bordo, cual fortalezas flotantes, los barcos pertenecientes a las marinas de guerra. La relevancia de las baterías de cañones, que en los buques de línea se disponían a lo largo de varias cubiertas (incluyendo el castillo de proa y el alcázar), radicaba en lo obvio: estas enormes bocas de fuego constituían el principal medio del que se valían las potencias marítimas para dirimir sus enfrentamientos armados, en los que solían intervenir barcos enfrentados entre sí y/o contra baterías costeras.¹ De allí el afán por contar con barcos que tuvieran la capacidad estructural y estabilidad adecuadas para albergar un creciente número de cañones, y de mayor calibre. En el contexto de conflicto imperante a lo largo del siglo XVIII y comienzos del XIX entre las potencias marítimas europeas, las tácticas de combate, el número y tipo de buques, la pericia y los conocimientos de los artilleros, y las propias piezas que estos servían, eran factores que podían influir, sin ser determinantes por sí mismos, en el desenlace (el éxito o el fracaso) de una batalla. En aquella época, algunos cambios en la metalurgia del hierro supusieron mejoras en la calidad del material de los cañones y las municiones, que se produjeron a la par de

¹ Complementaban la artillería de la época los morteros (estos disparaban bombas explosivas) y, hacia el último tercio del siglo XVIII, las carronadas y obuses.

modificaciones en el diseño de las piezas y los métodos de producción, y que en su conjunto permitieron optimizar sus prestaciones. En breve, la artillería tuvo por entonces implicaciones serias sobre los enfrentamientos navales, así como sobre el diseño y la construcción de los buques de guerra, e incluso sobre el desarrollo de la creciente industria siderúrgica. Por tanto, su estudio reviste especial importancia para el conocimiento de las tácticas de combate, la arquitectura naval y el proceso de industrialización modernos.

Los cañones son hallazgos comunes en naufragios tanto del período como de otros tiempos. Sus considerables dimensiones y el material con el que estaban fabricados suelen favorecer su preservación (e.g. Sullivan 1986; Canadian Parks Service 1992; Bequette 1996; Gesner 1998; Stanbury 1998; von Arnim 1998; Rodgers et al. 2006; Elkin et al. 2011; por mencionar algunos naufragios europeos de la época que nos ocupa). A menudo, constituyen la única evidencia visible disponible para la localización de los sitios. El estudio de estas piezas, además de aportar información sobre cuestiones específicas, por ejemplo, relativas a la artillería y la metalurgia, puede ser de suma utilidad para identificar otros restos asociados. Por desgracia, debido a su visibilidad y atractivo, también han sido objeto de expolio (actividades de recuperación indiscriminada) en reiteradas oportunidades. Muchas veces, la pérdida de la información contextual que ello supuso estuvo acompañada del deterioro físico —irreversible— de los cañones, debido a que no se tomaron las medidas adecuadas para su conservación. La extensión de estas acciones es global; nuestro país no ha sido la excepción, aunque los casos reportados que ilustran este fenómeno son pocos. En el mejor de los escenarios, estas piezas aisladas se encuentran emplazadas en museos. El tratamiento de los restos es fundamental, en especial si se trata de cañones de hierro colado (de fundición gris), dada la necesidad de conservar sus características morfológicas y marcas de fabricación para llevar a cabo una correcta identificación. De allí la importancia de trabajar conjuntamente con un conservador. Las inscripciones que suelen preservarse bajo la capa de concreción son susceptibles de deteriorarse con facilidad si son expuestas. Con relación a esto último, el relevamiento y registro (métrico y fotográfico) de los cañones, *in situ* o en el

laboratorio, es tarea primordial.² Por otro lado, cabe recordar que los cañones que eran llevados a bordo como parte de las baterías (en servicio) pueden encontrarse asociados a sus cureñas, las municiones y el utillaje empleado en el manejo de las piezas (en ocasiones, los cañones aún conservan restos de la carga en el interior). Estos objetos merecen semejante consideración y pueden proveer datos para el estudio de diferentes aspectos de la artillería del barco. También debemos hacer mención especial del potencial de los estudios de caracterización (véase Samuels 1992; Mentovich et al. 2010; Bethencourt et al. 2013; para el caso particular de los cañones y municiones). El análisis de la fundición empleada para la fabricación de los cañones, por citar un caso, puede aportar información novedosa sobre la metalurgia del hierro de la época, en especial si tenemos en cuenta —sucede algo semejante en el caso de las anclas— la complejidad técnica asociada a la obtención de este tipo de productos.

Este capítulo consta de dos partes principales, una dedicada a los cañones y la otra, a las municiones (balas, metralla y bombas). Siguiendo la lógica de los capítulos precedentes, en ambas secciones presentamos de forma articulada la información histórica y arqueológica acerca del tema, obtenida por nosotros y otros especialistas.

El contenido de la primera sección está organizado como sigue: 1) introducción a la materia, adonde incluimos las características generales sobre este tipo de armas, la relevancia de las piezas de artillería a bordo, el poderío de un barco de guerra, las particularidades de los cañones de hierro y de bronce (ventajas y problemas), el sistema de avancarga, los aspectos principales de los cañones (material, diseño, calibre y largo), sus principales rasgos morfológicos y relevancia con respecto a las piezas de procedencia arqueológica; 2) los tratados de artillería, en particular las investigaciones teóricas y prácticas sobre la performance de los cañones, la prevalencia del criterio empírico, los ilustres inventores y la

² Recomendamos para ello seguir las útiles indicaciones expresadas en el apéndice No. 4 de la guía de la NAS (Dean et al. 1992), y en los trabajos de Roth (1989) y Brown (1989, 2011). Otra fuente de interés para la identificación de cañones es *Guns at Sea*, obra compilatoria elaborada por el *Institute of Nautical Archaeology* de la Universidad de Texas A&M, EE.UU. Allí puede encontrarse cuantiosa información histórica y arqueológica (con numerosas ilustraciones) sobre la artillería empleada por las Armadas europeas en época moderna. Para el caso particular de la artillería británica, los trabajos de Blackmore (1976) Hohimer (1983) y McConnell (1989), entre otros, son de consulta obligada.

transferencia de conocimientos y avances internacionales; 3) las ordenanzas navales, específicamente las reglamentaciones en torno a las características de las piezas (dimensiones, calibre y largo), su producción y empleo, las fórmulas, la identificación de los rasgos diagnósticos y comparativa entre las piezas de diversa procedencia, la normalización de la artillería, y los cambios en torno al calibre, largo, refuerzos y peso de los cañones de hierro; 4) las instalaciones fabriles, con foco en la situación general de los principales centros de producción de la artillería: ubicación, producción, etc.; 5) el proceso de manufactura de los cañones de hierro: elaboración del molde y fundición, fundición *en hueco* y *en sólido*, pruebas de calidad e inspección exterior e interior; 6) disposición a bordo y operación de las baterías, con mención de las cureñas, la dotación de un cañón y el servicio de una pieza en combate y 7) notas sobre el peso de los cañones y del balerío.

El apartado sobre municiones está dividido de esta manera: 1) características generales; 2) balas, metralla y bombas (tácticas de combate, usos, aspectos morfológicos distintivos) y 3) manufactura (fundición y forja). Al igual que en el caso de los capítulos anteriores, haremos hincapié en las innovaciones técnicas y, en este caso en particular, en las contribuciones del ámbito científico.

CAÑONES

Introducción a la materia

La importancia que tenía la artillería para los estados modernos fue lúcidamente descrita en el prólogo del *Tratado de Artillería* de Francisco Rovira (ya hablaremos de este en particular) por el Jefe de Escuadra de la Real Armada española, Antonio de Ulloa:

“...la materia es en sí la mas importante para la Guerra (...) y por lo tanto la que debe estudiarse con mas aplicacion por los que se dedican à ella, con particularidad por la Marina (...) El buen servicio de la Artilleria, es un principio de ventaja para el vencimiento (...) destrozados los Baxeles que componen las Esquadras y Armadas, se

empieza à consentir en la victoria: mas àntes de llegar à estos progresos, es preciso establecer como medios para conseguirlos, la bondad de la Artilleria, capaz de resistir el fuego sin quebranto: el acierto de los tiros: la buena calidad de la Pòlvora: las proporciones de las municiones: la fortaleza y buena distribucion de los Afustes, Trenes, y otros utensilios, para cuyo conocimiento, y su mejor uso es indispensable la pericia de los Generales, Comandantes, y la Oficialidad subalterna, à cuyo cargo ha de estar el mando: porque sin ello se harian infructiferos los demas preparativos, y con ellos los quantiosos gastos que se impenden en mantener un lucido Tren: debiendo considerarse que por medio de este se conserva la Soberania en el mayor respeto aun en los tiempos tranquilos en que reyna la paz” (Rovira 1773:*3,4).

En particular, los cañones eran parte vital del armamento —entendido en sentido estricto, es decir como el conjunto total de armas llevadas a bordo— de un buque de guerra, en especial de uno de línea, y acaso puede decirse que por aquel entonces tuvieron allí más relevancia que en cualquier otro contexto militar. Al respecto, Brownlee afirmó:

“El poder de un buque de guerra residía en sus grandes cañones. El diseño del barco, el número de tripulantes y la posición que ocupaban estaban pensados para que los cañones se pudieran utilizar con la máxima eficacia” (Brownlee 2001:11).

Dado que de las acciones emprendidas por estos barcos dependía en parte importante el control de los territorios de ultramar y del comercio internacional (marítimo) de los estados europeos y, por extensión, su bienestar general, no es de extrañar la especial atención otorgada a la artillería con la que se contaba. Los triunfos de las Armadas dependían, en definitiva, de los cañones llevados a bordo de sus barcos (Fig. 8.1).

Las piezas de artillería de la época eran de ánima lisa y avancarga, lo que significa que la carga (i.e. el cartucho de pólvora, la bala y el taco) se introducía por la boca (Fig. 8.2). El material, diseño, calibre, largo y peso de un cañón, eran los principales aspectos que las definían.



FIGURA 8.1 – CAÑÓN DE LA FRAGATA *HMS PALLAS*.

Título original, en inglés: *Seaman leaning on a gun on the 'Pallas'*. En la imagen se puede apreciar a un marinero de la fragata de 44 cañones *HMS Pallas* (1757-1783), en el castillo de proa, apoyado sobre uno de los cañones de mira o de caza. Nótese que la cuña de puntería lleva grabado o pintado el nombre del barco. Acuarela realizada por Gabriel Bray (1750-1823), ca. 1775. Dimensiones de la lámina: 17,7 cm x 11,5 cm.

Fuente: National Maritime Museum, Greenwich, Londres. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

El bronce y el hierro colado fueron las dos aleaciones típicamente empleadas para la manufactura de cañones durante los siglos xvii y xviii. Aquellos fabricados en bronce fueron utilizados de forma generalizada hasta bien entrado este último siglo. Eran considerados de mejor calidad que los de hierro, debido a que eran más livianos, menos propensos al deterioro por corrosión y no se fragmentaban si

fallaban (cuando reventaban).³ Además, podían reciclarse con facilidad una vez que caían en desuso y solían llevar una ornamentación que les confería un carácter

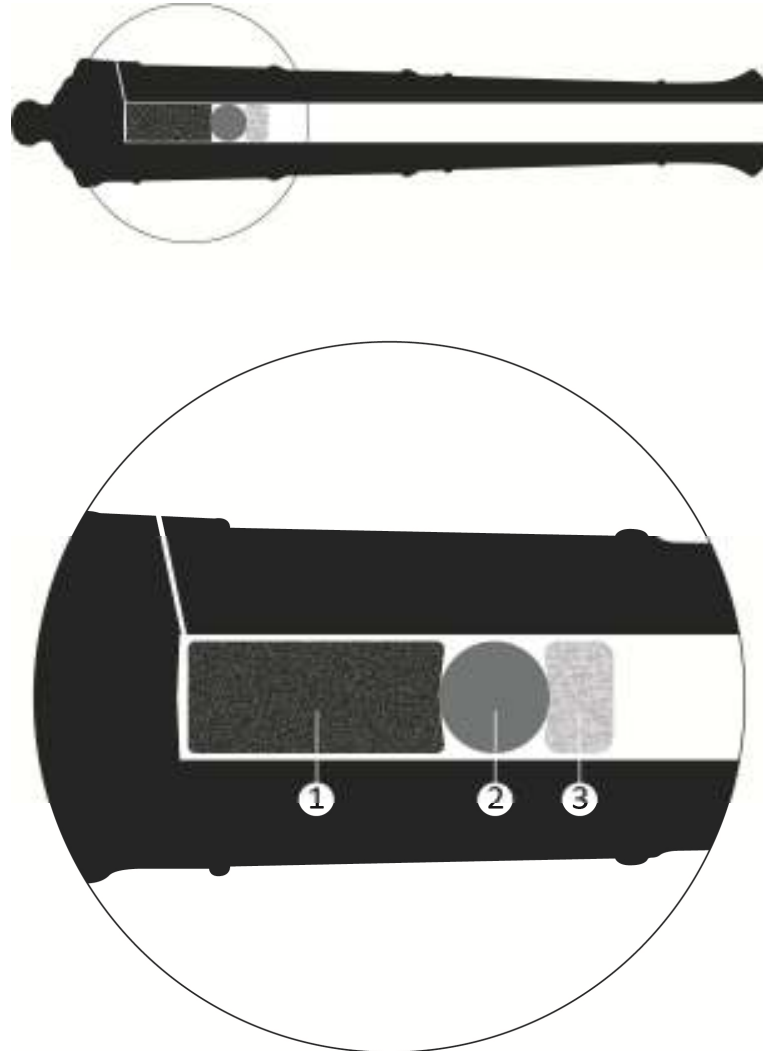


FIGURA 8.2 – CAÑÓN DE AVANCARGA.

Esquema de la silueta e interior de un cañón de avancarga y ánima lisa del siglo XVIII, basado en el modelo británico *Armstrong*. En detalle se aprecia la zona de la recámara, adonde se ubicaba la carga, que en este ejemplo se encuentra compuesta por los siguientes elementos: 1) cartucho de pólvora; 2) bala esférica; y 3) taco de filástica.

Gráfico: N. Ciarlo 2014.

³ En la Marina de Guerra, la falla de los cañones de hierro presentaba un doble inconveniente: además de afectar a los servidores de la pieza, la explosión podía atentar contra la integridad casco de los barcos. Por esta razón, algunas marinas emplearon sólo cañones de bronce en la batería inferior (Torrejón Chaves 1997:295).

muy especial (algunas piezas eran incluso consideradas obras de arte). Sin embargo, adolecían de un inconveniente importante: su elevado costo. Este aspecto se agravó con el tiempo, en especial frente a la necesidad de incrementar el poder naval (i.e. el número de buques y cañones), momento en el que la artillería de bronce se tornó prohibitiva para las finanzas de los estados. La alternativa económica más viable ante esa situación fue el cañón de hierro (Torrejón Chaves 1997:295; Sanjurjo Jul 2007:25,27). Gracias al abaratamiento de este tipo de piezas y los avances en la tecnología de producción del hierro —que permitió reducir el peso y aumentar la resistencia del material— hacia la década de 1770 la mayoría de los barcos de las principales armadas europeas habían dejado de utilizar cañones de bronce (Meide 2002:10).⁴ Por esta razón, como ya anticipamos, aquí nos centraremos en la artillería de hierro colado.

El diseño refería a la morfología externa y proporciones características de las piezas (incluimos aquí a las molduras decorativas y marcas de fabricación). Respecto al calibre, por el momento diremos que se entendía como tal al diámetro del ánima, a la altura de la boca (aunque la clasificación de los cañones se expresaba en función del supuesto peso de la bala que estos disparaban, e.g. 12 libras, 24 libras, etc.). Por tanto, para el estudio de un cañón cualquiera, esta es la medida que debe utilizarse.⁵ El largo, según se lo entendía por aquel entonces —y

⁴ Muy atrás habían quedado los días de Johán de Escalante, quien allá por 1575 comentó: “suelen decir los navegantes que de ella tienen noticia que la artillería de hierro mata a los de dentro y espanta a los de fuera; y es que el mejor metal que hasta ahora se ha hallado para piezas de artillería es el buen cobre mezclado con buen estaño...” (pasaje reproducido en Mora-Figueroa 1993:165). La introducción generalizada de los cañones de hierro respondió a un imperativo de índole económico, pero también a una cuestión operativa (táctica): los cañones de hierro permitían una mayor cadencia de tiro, hecho que cobró creciente relevancia durante los combates navales (Sanjurjo Jul 2007:27).

⁵ Otras dimensiones de la pieza pueden dar una idea aproximada de aquel, si se considera que en esta época existían varias relaciones de tamaño entre las partes de un cañón (e.g. el largo y diámetro de los muñones de los ejemplares ingleses era semejante al del calibre; consultar otras relaciones de tamaño establecidas y sugeridas para cañones de hierro en Muller 1768:29-32, Rovira 1773:74-90,100,101), aunque únicamente a modo orientativo. El estado de preservación en que se encuentra una pieza debido al uso y el deterioro post-naufrago debe tenerse presente, dado que es posible que ciertas dimensiones no se correspondan con las originales. Definir la nacionalidad del cañón con antelación resulta prioritario, ya que cada estado tenía diferentes unidades de medida, y por ende para cada calibre existía una diferencia en el diámetro del ánima. Lo anterior se ilustra en el artículo de Roth, que presenta una tabla con las dimensiones de una colección de cañones de varios calibres y diversa procedencia (Roth 1989:193). A lo anterior pueden sumarse otras complicaciones, por ejemplo el hecho que los cañones muchas veces eran recalibrados durante su vida útil, de resultas que el diámetro del ánima de una pieza arqueológica podría no coincidir en

así debe ser considerado hoy en día a nivel investigativo— comprendía el área entre el plano de la boca y la terminación de la faja alta de culata. Este se medía en cantidad de calibres.⁶ Durante la centuria se llevaron a cabo múltiples estudios centrados en los efectos del largo sobre el comportamiento de la bala durante el tiro, que derivaron en la implementación de algunos cambios en el tamaño de las bocas de fuego, e incluso llevaron a la incorporación de un nuevo tipo de cañón. El peso también recibió la atención de los artilleros y constructores navales, dada la necesidad de aligerar los buques, pero manteniendo al mismo tiempo las principales prestaciones, e.g. seguridad al disparar. Volveremos sobre varios de estos aspectos a lo largo del capítulo.

Durante el siglo XVIII los órganos gubernamentales encargados de los asuntos vinculados con la artillería naval establecieron una serie de reglamentos u ordenanzas —que, en el caso de Inglaterra y Francia, tuvieron sus precedentes en las ordenanzas de las últimas décadas del siglo XVII— mediante las que se normalizaron progresivamente aquellos aspectos, de modo que los productos de diferentes fundidores tuvieran semejantes características. Aunque cada boca de fuego, debido al método de manufactura artesanal empleado en aquel entonces, siguió siendo de carácter único, con los años produjo una creciente estandarización de los cañones. De allí la posibilidad utilísima de obtener información acerca de la nacionalidad, el fabricante, la fecha de producción y las pruebas de las piezas, entre otros aspectos, a partir del análisis de sus características morfológicas y marcas superficiales, que por extensión son además de particular interés para la investigación de un naufragio. Roth (1989) propuso ciertos lineamientos para el estudio de piezas de procedencia arqueológica, en pos de su correcta identificación. Mencionamos a continuación los principales detalles a tener en cuenta:

proporción, según lo esperado, con el resto de las dimensiones. Por citar un caso a este respecto, en 1829 el Almirantazgo británico dispuso una nueva reglamentación para la artillería de los buques de guerra, que establecía como calibre menor para los cañones de ánima seguida (i.e. aquellos cuyo hueco interior tenía el mismo diámetro a lo largo de toda su extensión) el de 32 libras. Frente a la dificultad de contar con un número elevado de estas piezas, como medida provisional y económica se mandó a barrenar los cañones de 18 y 24 libras para que fueran llevados a dicho calibre (Martínez de Espinosa y Tacón 1849:164-165).

⁶ La longitud de la pieza, en cambio, corresponde a la extensión total (desde el plano de la boca hasta la terminación del cascabel).

Tipo de información	Abarca
General	Hallazgo, historia de la pieza, conservación, ubicación actual, etc.
Esencial	Largo de la pieza, diámetro del ánima, diámetro a la altura del oído, peso, y marcas superficiales tales como el escudo de armas, las iniciales del fundidor, el peso, etc.
Adicional	Diámetro de la tulipa, largo del ánima, forma de la recámara, y sección más angosta de la pieza, etc.

A modo orientativo y para ilustrar algunos de los aspectos antes mencionados, en la figura 8.3 exponemos las principales partes de un cañón de hierro de la época que nos ocupa.⁷ Utilizamos como modelo una pieza inglesa de 24 libras, que fue recuperada de las costas de la Banda Oriental (actual República Oriental del Uruguay) y se encuentra exhibida en el Museo Naval sito en Montevideo (Fig. 8.4).

La extracción del cañón no se realizó dentro del marco de un proyecto arqueológico, por lo que no disponemos de información precisa sobre el contexto del hallazgo. No obstante, es probable que esta y otras piezas,⁸ hayan pertenecido al *HMS Agamemnon* (1809). Así se lo asigna en los registros del Museo (código No. L74). Este navío de 64 cañones participó en numerosas batallas navales durante la Guerra de Independencia de los Estados Unidos (e.g. Ushant, 12 de diciembre de 1781), las Guerras Revolucionarias Francesas (e.g. Copenhague, 2 de abril de 1801) y las Guerras Napoleónicas (e.g. Trafalgar, 21 de octubre de 1805) y naufragó en la Bahía de Maldonado, Río de la Plata, el 16 de junio de 1809.

⁷ Para cada una de las partes empleamos los términos que consideramos como los más usuales en aquella época, según los diccionarios contemporáneos (e.g. Simmons 1812; Martínez de Espinosa y Tacón 1849; Burn 1852; Franke 1855; Almirante 1869) y otras fuentes bibliográficas más recientes sobre artillería (e.g. Blackmore 1976; Sidders 1982; Bryce 1984; Manucy 1985; McConnell 1989; Roth 1989; Boudriot y Berti 1992). En estas obras puede encontrarse mayor información sobre cada una de las partes mencionadas, así como la denominación de otros detalles que decidimos soslayar por no tener relación directa con los temas aquí tratados.

⁸ Entre estas se incluyen dos anclas (una de las cuales mencionamos en el capítulo anterior) y una carronada, que también están expuestas en el Museo.

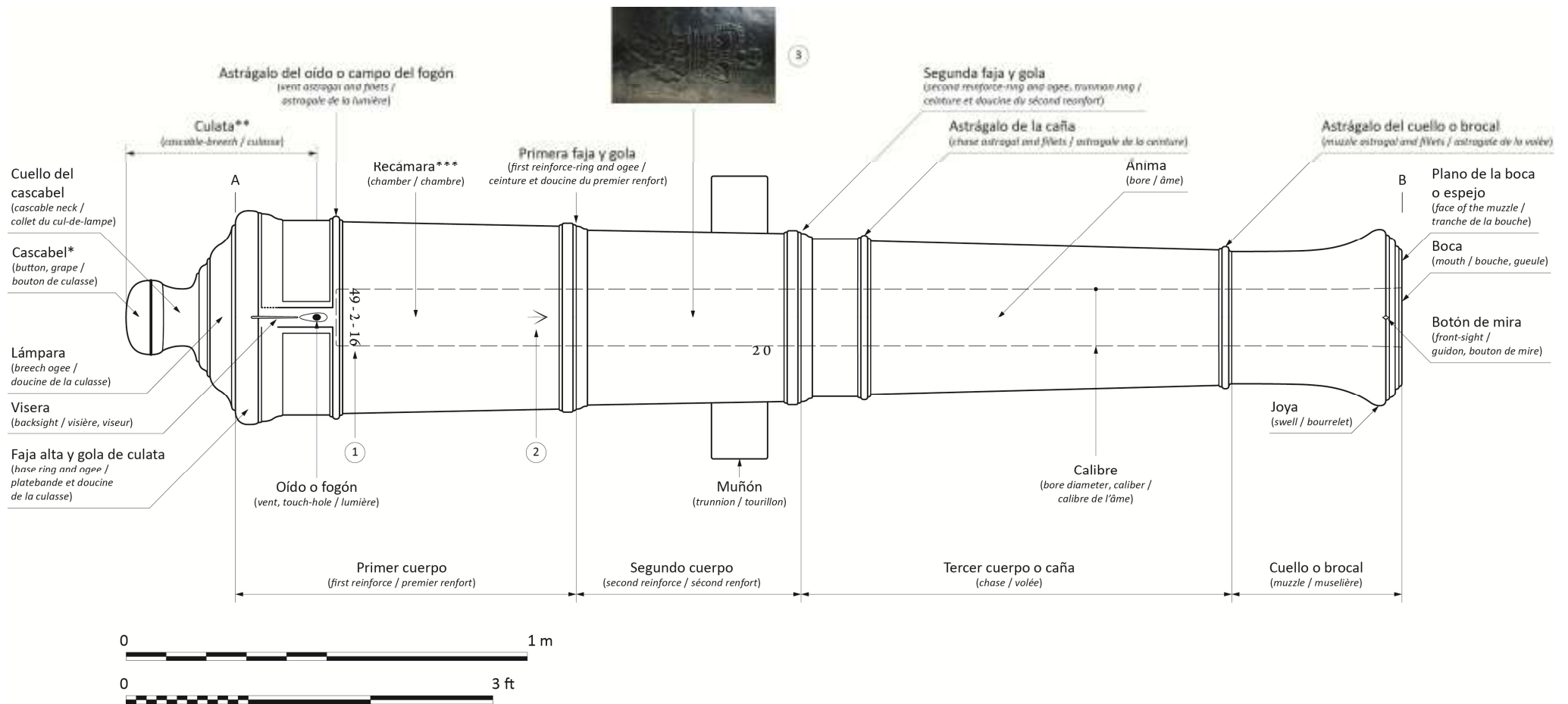


FIGURA 8.3 – CAÑÓN DE HIERRO BRITÁNICO.

Plano de un cañón de hierro británico de 24 libras, patrón *Armstrong*. Los nombres de las partes principales están acompañados de los términos en inglés y francés. La extensión total del ánima fue delineada siguiendo la información disponible sobre este tipo de piezas. El cañón usado como modelo presenta ligeros defectos de simetría (e.g. la distancia entre la gola de la culata y el astrágalo del oído), que no fueron representados.

[Las referencias se detallan en la página siguiente].

Gráfico: N. Ciarlo 2014; elaborado sobre la base de un cañón de hierro expuesto en el Museo Naval de Montevideo, Uruguay.

[Referencias de la figura 8.3]

* En castellano, se denomina cascabel al remate posterior, de forma casi esférica, de una boca de fuego. El término inglés *cascable* o *cascabel* es empleado para definir a la sección posterior, aquella que no se encuentra incluida en el largo (su equivalente más próximo en francés es *cul-de-lampe*), aunque existen discrepancias. Algunas versiones agrupan el cascabel propiamente dicho y las molduras de la culata, mientras que otras dejan fuera el remate posterior (*button*).

** En sentido estricto, la culata corresponde a la porción sólida de las piezas de avancarga ubicada entre el plano tangente al fin de la pieza y el plano que pasa por el oído (o la base del ánima). También se denomina culata a la parte posterior a la faja alta, i.e. lo que no es parte del largo.

*** La recámara comprende el sector que ocupa la carga del cañón (i.e. el cartucho de pólvora, el taco y la bala). El resto del cilindro, vacante, corresponde al ánima, aunque la longitud de esta última refiere a la extensión total del hueco (la recámara inclusive).

A–B. La distancia entre estos puntos corresponde al largo de la pieza (*length of the piece; longueur de la pièce*). La longitud total, según convención, es 290,75 + 27,25 cm (véase Roth 1989:193,201).

1. Peso de la pieza, expresado en quintales (cwt), arrobas (qrs) y libras (lb), equivalente a 2.522 kg.
2. Flecha del Almirantazgo (*broad arrow*).
3. Monograma del rey Jorge III, formado por las iniciales GR (George Rex) coronadas y acompañadas del número arábigo tres (arriba a la izquierda de la letra G).



FIGURA 8.4 – CAÑÓN DE HIERRO DE 24 LIBRAS.

Imagen de un cañón de hierro atribuido al navío *HMS Agamemnon* (1809).

Foto: N. Ciarlo 2011. Museo Naval de Montevideo, Uruguay.

Algunos rasgos morfológicos nos brindaron una idea sobre la nacionalidad y época del cañón, así como de las dimensiones aproximadas del barco en el que fue utilizado. El diseño general es típicamente inglés, del siglo XVIII (véase más abajo). Más diagnósticas aún son las marcas ubicadas entre el astrágalo⁹ del oído y la segunda faja: el peso de la pieza, expresado en unidades del sistema anglosajón (quintales, arrobas y libras), la flecha del Almirantazgo y el monograma del rey Jorge III (véase la Fig. 8.3). La evidencia anterior indica sin lugar a dudas que el cañón en cuestión perteneció a la Real Armada británica y fue fabricado durante el reinado de aquel monarca (1760-1820), probablemente en la primera mitad; así lo sugiere su diseño y el ensanchamiento que presenta en el diámetro del ánima a la altura de la boca, indicio que puede atribuirse a un uso extensivo de la pieza (i.e. hacia la primera década de 1800 llevaría varios años en servicio). El calibre sugiere además que el barco del cual provino —si asumimos que formaba parte de una de sus baterías y no era llevado a bordo como lastre— era un navío de línea. Al respecto, recordemos que los cañones que llevaban en su batería principal las fragatas con mayor poder de fuego en aquel entonces, artilladas con 36 y 38 piezas, eran de 18 libras (Rodger 2006:417).

A lo largo del capítulo veremos cómo este tipo de información y otros datos pasibles de ser alcanzados a partir del estudio de materiales de procedencia arqueológica permiten analizar diversas cuestiones vinculadas con los procesos de innovación en torno a la artillería naval de la época. Para ello, primero deberemos presentar un estado de la cuestión acerca de esta tecnología a partir de la información histórica disponible.

Los tratados de artillería

Por el valor que tenía la artillería para los estados, su estudio era tarea primordial; de hecho, llevaba siéndolo hacía mucho tiempo. Y si bien los tratados sobre el tema no eran novedad,¹⁰ durante la segunda mitad del siglo XVIII se publicaron

⁹ Moldura compuesta por un cordón o bocel (semicírculo) y dos filetes o listones a los costados.

¹⁰ Quien desee profundizar en el conocimiento sobre los primeros tratados modernos de artillería hasta el tiempo que aquí abarcamos, puede consultar a de los Ríos (1805), quien hizo una

varios trabajos que vinieron a arrojar luz sobre varias cuestiones de interés. Estos fueron llevados a cabo por personas de dilatada experiencia que, además de condensar la información previa disponible, aportaron lo suyo al conocimiento del arte tormentaria (i.e. aquel que versa sobre las armas de la guerra, tanto aquellas empleadas en tierra como en mar).

Estas obras abarcaban un amplio repertorio de temas. Entre aquellas cuestiones vinculadas a la artillería sobre las que se da cuenta razonada, podemos mencionar: la fábrica de cañones, las dimensiones y calibre de las piezas, los montajes, los accesorios, y el uso de estas armas. La lista es, desde ya, mucho más extensa. Es preciso decir que estas obras se basaron en los conocimientos adquiridos durante varios siglos, sobre la base de la práctica y la teoría, y que para ese entonces ya habían permitido alcanzar importantes avances (e.g. la reducción de los grandes calibres y variedad de las bocas de fuego, cuyas características se fijaron de un modo más racional a los efectos de su empleo).

Muchos de estos trabajos tuvieron notable trascendencia en Europa, de modo que los especialistas en la materia pudieron estar al corriente de las experiencias y resultados de sus colegas extranjeros. Vicente Tofiño afirmó que este arte se cultivó con empeño en varios reinos de Europa, y que de resultas se consiguieron de forma alternativa las innovaciones más ventajosas (Rovira 1773:*8). Por su parte, también obtuvieron provecho de estas obras escritas los oficiales de las Marinas de Guerra que debieron hacer uso de la artillería, de los que se esperaba que contaran con los conocimientos necesarios para ello. Hoy en día, la información allí disponible constituye una fuente ineludible para cualquier estudio sobre la temática. En las líneas que siguen haremos una breve mención de algunos trabajos que aparecieron durante la época que nos ocupa, y que tuvieron notable trascendencia entre sus contemporáneos.

En el año 1742, el científico británico Benjamin Robins (1707-1751), miembro de la Real Sociedad de Londres, publicó su obra *New Principles of Gunnery*, que fue reeditada a principios del 1800 (Fig. 8.5).

descripción detallada sobre la notable labor de tratadistas españoles (Álaba y Viamont, Lechuga, Ufano y Firrufino).

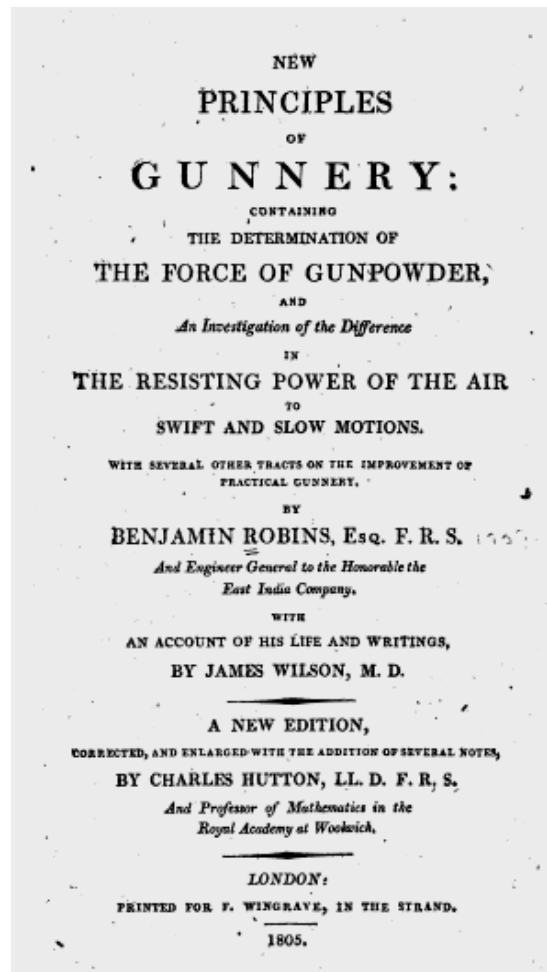


FIGURA 8.5 – *NEW PRINCIPLES OF GUNNERY*.

Portada de la segunda edición del tratado de artillería de Benjamin Robins, publicada en el año 1805.

En esta obra, Robins presentó una serie de proposiciones acerca de la física de los cañones, y puso a prueba su teoría acerca de la potencia de la pólvora y la velocidad de la bala, entre otros aspectos, por medio de experimentaciones controladas. Esta obra tuvo implicaciones de peso con respecto a varios temas de balística interna y, en la práctica, llevó a la realización de importantes cambios (e.g. reducción del largo de los cañones). En el año 1805 se publicó una nueva edición, en la que fueron incluidos —además de la obra original— varios artículos para la mejora de la práctica artillera, presentados en el transcurso de la década de 1740 y principios de la siguiente ante la Real Sociedad de Londres.

Una de las obras más completas de la época es la de John Muller, *A Treatise of Artillery* (1757). Este tratado versa sobre la artillería en general, aunque una sección está dedicada a las piezas de hierro y bronce utilizadas en el servicio de marina. Muller realizó un análisis exhaustivo y detallado de los cañones y morteros empleados regularmente (dimensiones, componentes, uso, etc.). Comparó además las características principales de diferentes bocas de fuego, e hizo hincapié en la relevancia del peso. Esta obra contiene también información valiosa sobre los experimentos realizados por el autor y otros especialistas en torno al alcance de los cañones, las cargas, la forma de las piezas, etc. De nuestro interés son, entre otros datos, las consideraciones realizadas en la última parte acerca de los transportes navales y su cargamento.

Contemporáneo al estudio anterior es el trabajo del francés Jean Maritz (1711-1790), titulado *Artillerie de la Marine* (manuscrito de 1758). Esta pequeña obra contiene una serie de tablas con las dimensiones de las diferentes partes de las piezas utilizadas en el servicio naval. Junto a esta descripción, cuenta con varias láminas adonde se ilustran los cañones, morteros, obuses, cureñas y municiones empleadas en estas bocas de fuego. Maritz fue inspector de las fundiciones de artillería de tierra y de marina (1761) y tuvo un rol importante como responsable del perfeccionamiento de la máquina para taladrar cañones diseñada por su padre, Jean Maritz (1680-1743), que introdujo en las instalaciones que proveían a la Marina de Guerra a partir de la década de 1750 (Maritz [1758] 1987).

Jean-Baptiste Vaquette de Gribeauval fue sin duda uno de los personajes eminentes en materia de artillería. Una serie de reformas organizativas dio lugar al sistema que lleva su nombre. La publicación *Tables des constructions des principaux attirails de l'artillerie proposées ou approuvées depuis 1764, jusqu'en 1789*, destaca por el sumo grado de detalle de la información tabulada, que cubre la cuantiosa parafernalia relativa a la artillería utilizada en Francia a partir del último cuarto del siglo XVIII (Gribeauval 1792). Los aportes de Gribeauval tuvieron especial impacto a partir de su rol como Inspector General de Artillería. No sólo revolucionaron la artillería gala, que se empleó con éxito durante las Guerras Napoleónicas, sino que además influyeron en el desarrollo de otros países (Manucy 1985:9,10).

En 1767, Vicente de los Ríos dio a conocer su *Discurso sobre los ilustres autores é inventores de Artillería*. En esta obra, que luego de varios años apareció entre las Memorias de la Real Academia de la Historia (No. 6, tomo 4, 1805), el autor hizo mención del amplio desconocimiento que, por comparación con lo que sucedía en otras ciencias y artes muy apreciadas en España, había en su época sobre quienes se habían ocupado de contribuir al conocimiento teórico y práctico de la artillería.

“...la gloria de las Ciencias, aunque es en efecto mas sólida, y provechosa, jamás llega à ser tan ruidosa, y brillante como la militar (...) Tal es el destino de las Ciencias Matematicas (añade el citado escritor [se refiere a Bernard Le Bovier de Fontenelle]), Ciencias espinosas, abstrahidas, y manejadas por un pequeño numero de personas. La utilidad de sus progresos es invisible á la mayor parte del mundo; sobre todo, si se limitan á Profesiones poco brillantes, como la Artillería” (de los Ríos 1767:8,9).

Este desconocimiento de quienes contribuyeron con sus logros a la artillería (este autor refiere en particular a los geómetras) no sólo era de parte del vulgo; quienes practicaban esta facultad (e.g. los artilleros) tampoco estaban al tanto de muchos de los adelantos que habían facilitado su trabajo. Para hacer justicia frente a tal situación, presentó un estudio pormenorizado sobre los personajes ilustres cuyos escritos, si bien ya no eran precisos dado el estado de la Artillería de su tiempo, habían favorecido mucho a que alcanzara tal nivel de desarrollo.

En la época en que escribió de los Ríos, aún se sentía la influencia de algunos autores del siglo XVII, entre quienes merece especial mención Julio César Firrufino, cuyo trabajo *El Perfecto Artillero: theorica y practica* (1648) fue la obra de la que se sirvieron los profesores de aquel especialista para su formación (de los Ríos 1767:83). De los Ríos hizo breve mención de otros autores (e.g. Díaz Infante, de Labairu, Cerdá), según él de menor talla que aquel especialista, que escribieron y publicaron sus obras con posterioridad. Veamos algunas de las que aparecieron durante el período que nos concierne.

José Díaz Infante, siendo Teniente de fragata obtuvo el cargo de Maestro de Artillería de la Academia de Guardias Marinas de Cádiz (única por aquel entonces) en 1752. Durante su carrera escribió varias obras. Además de la ya citada, publicó

Pirometalía absoluta, ó arte de fundidores (Palma de Mallorca, 1740), *Geometría práctica para instrucción del cuerpo de las brigadas de artillería de marina* (Cádiz, 1752) y *Compendio de Artillería para el servicio de la marina* (Cádiz, 1754). Y también, de interés para el conocimiento de la artillería fue la presentación, ante la Asamblea amistosa literaria de Cádiz que estaba presidida por Jorge Juan, del opúsculo técnico ‘Sobre la compactación de los metales, que hace la pólvora en las recámaras de las piezas de bronce, y la causa á que se puede atribuir la curvatura que toman las mismas piezas’ (Fernández de Navarrete 1851:59,60).

Si, como sucedió en el caso de la estimación de la proyección de las balas, el cálculo —en especial sobre la base de los conocimientos disponibles en geometría— ocupó un lugar destacado, la experiencia tuvo mayor relevancia que aquel con relación a otros asuntos que eran objeto de perfeccionamiento. Aún más, la última palabra con relación a los cambios que se proponían la tenía el resultado alcanzado luego de una prueba. El caso de las experiencias que se realizaron para examinar las prestaciones de las diferentes recámaras es ilustrativo (véase más abajo). Tal como afirmó de los Ríos:

“Quando la práctica sola ha decidido la misma variedad y diferencia, introducida sucesivamente en las recámaras de las piezas, y abandonada después del propio modo, ha manifestado que sin el exâmen fisico de la pólvora es imposible poder fixar, y determinar con solidez y acierto este punto” (de los Ríos 1767:119).

De los Ríos, al final de su *Discurso*, se mostró muy confiado acerca de las contribuciones que sus compatriotas serían capaces de hacer en el futuro próximo. En sus propias palabras:

“Al presente la perfeccion de las ciencias fisico-matemáticas, el distinguido mérito de los xefes del Real Cuerpo de Artillería, la acreditada aplicacion de sus oficiales, el útil establecimiento de un Colegio militar para la enseñanza de los caballeros Cadetes de este cuerpo, y sobre todo, la pasion de nuestro Augusto Monarca por el fomento y lustre de sus armas, produzcan sin duda otros muchos sugetos, dignos de ser colocados en los fastos de la Academia [de la Historia]” (de los Ríos 1767:144).

También destacó Tomás de Morla y Pacheco, quien en sus inicios fue uno de los cadetes que aprobaron el primer curso del Real Colegio de Artillería de Segovia, donde se desempeñaría como docente durante muchos años. Sus aportaciones a la artillería y la metalurgia quedaron plasmadas en su *Tratado de Artillería*.¹¹ Esta obra, publicada por primera vez en Segovia el año 1784, fue de singular importancia para varias generaciones de artilleros en España, se tradujo a varios idiomas y se empleó para la enseñanza del arte en Holanda, Francia y Alemania. Entre 1787 y 1791, de Morla visitó varios países de Europa, entre estos Inglaterra y Francia, a los que fue comisionado con el objetivo de reportar los avances en torno a la artillería y fundición de cañones. A su regreso, trajo consigo varios documentos sobre la fabricación de cañones en Inglaterra que consideró de especial interés, y que incorporó a la enseñanza en el Colegio (para mayor información, consultar la página del Colegio: www.realcolegiodeartilleria.es).

Torrejón Chaves destacó entre los Comisarios Generales de Artillería de la Real Armada española a Francisco Javier Rovira (1740-1823), que logró conjugar mejor que nadie la teoría, la práctica y la docencia de la Artillería (Torrejón Chaves 1997:308). Siendo profesor de Artillería (Maestro) de la Academia de Guardias Marinas de Cádiz, Rovira escribió un tratado para la instrucción de los estudiantes, titulado *Tratado de Artillería para el uso de los Caballeros Guardias Marinas en su Academia*, que se publicó en la imprenta de la misma Academia el año 1773. Más adelante escribió otras obras de interés para el conocimiento de la artillería; destacan su *Compendio de Matemáticas, dispuesto para las Escuelas del Real Cuerpo de Artillería de Marina*, cuyos tomos fueron publicados en dicha imprenta entre los años 1781 y 1791, y los *Ejercicios del cañón y mortero, aprobados por su Majestad en 29 de Enero de 1787*, también impreso en la Academia en este último año (Fuster 1830:429,430).

Respecto de la primera de las obras antes citadas, allí el autor realiza un análisis pormenorizado de los temas más importantes para la formación de los oficiales navales y toda persona vinculada con la teoría y práctica de la artillería. La obra está estructurada en trece capítulos, entre los que conjuga los aportes de otros

¹¹ En el tomo 3 de *La ciencia española*, puntualmente en la sección dedicada a las ciencias militares del 'Inventario bibliográfico de la ciencia española', Menéndez Pelayo escribió que existen fundamentos para creer que el autor de la obra en cuestión fue en realidad Vicente de los Ríos (Menéndez Pelayo [1876] 1953-1954:239).

estudiosos (entre los que destaca Jorge Juan) y sus investigaciones sobre: los constituyentes, formación y propiedades de la pólvora; las características fundamentales de los cañones (partes, calibre, largo, refuerzos, peso, molduras, proporciones); el reconocimiento y las pruebas de las piezas; de las cureñas, el montaje y disposición de los cañones a bordo; los instrumentos utilizados para servir las bocas de fuego; las municiones (cartuchos, balas y metralla); la puntería y el alcance de los cañones; entre los principales aspectos. De un interés especial son las propuestas que hizo este autor en pos de mejorar la eficiencia de los cañones empleados en su tiempo, entre las que cabe mencionar sus cañones ligeros (más cortos, livianos y regulares que los reglamentarios). En lo que a esta investigación concierne, del segundo trabajo de Rovira resulta de importancia el tomo cuarto, 'De la artillería de mar y tierra', en el que aborda nuevamente el tema de la artillería usada en los barcos de guerra.

En el campo de la artillería, no queda sombra de duda de que la teoría cumplió un rol de suma importancia desde muy temprano; podría decirse que lo hizo desde los comienzos de la modernidad. Por supuesto, debió transcurrir mucho tiempo hasta que, por caso, los principios básicos de la trayectoria y el alcance de los proyectiles —que hoy son materia de la especialidad denominada balística— cobraran forma. Muchas teorizaciones, por sí solas, condujeron a equívocos, o se vieron desafiadas por los resultados de la práctica; otros errores ocurrieron cuando los estudios se fundamentaron únicamente en la experiencia. Pero ambas fueron imprescindibles y, cuando operaron de forma articulada, conformaron un binomio muy fructífero. Hacia el siglo XVIII, esta forma de trabajo estaba bien instalada entre los especialistas que se abocaron al estudio y la mejora de los diferentes ingenios utilizados para la guerra.

El grueso de los aportes expresados en estas obras, por lo general, es con referencia a la artillería empleada en el servicio del Ejército (en tierra). No obstante, algunos también se ocuparon del ámbito naval, en ocasiones de forma exclusiva. La información volcada en varios estudios guardaba relación con las aplicaciones contemporáneas. En otros casos, en cambio, los datos allí compilados no se ajustaban del todo a los usos del momento, básicamente debido a que los escritos reproducían información anticuada. El panorama era heterogéneo, en especial si tenemos en cuenta que muchos escritores, con la intención de realizar

un aporte singular a la materia, realizaron apreciaciones personales que nunca fueron llevadas a la práctica. A la regularización de las características básicas de la artillería empleada en el ámbito naval contribuyeron las ordenanzas estatales, introducidas por varias de las armadas europeas a partir de finales del siglo xvii.

Las ordenanzas navales

Acerca del establecimiento de las 'fórmulas'

Las ordenanzas navales, redactadas por hombres versados en los conocimientos de su época, tenían por objeto regular todos aquellos aspectos vinculados con la artillería de los barcos de guerra. En este sentido, es probable que fueran los escritos de vanguardia. Aquí nos interesan en particular las resoluciones con respecto al diseño y las dimensiones de los cañones, así como con relación al número y calibre de piezas con las que se debían armar los buques de guerra, entre los aspectos principales. Cada Armada tenía su propia *fórmula* (*sensu* Roth 1989:191) respecto de la artillería, es decir que el diseño, calibre, largo y peso de los cañones tenían ciertas características distintivas. Con los años, estos aspectos sufrieron algunas reformas, aunque no implicaron un cambio fundamental en la artillería, a nivel conceptual o práctico, sino más bien una modificación gradual sobre la base de cierto modelo precedente.¹²

Veamos, a modo de ejemplo, el caso británico. El modelo de los cañones de hierro entre 1729 y principios de la década de 1790 es conocido como *Armstrong*. Desde su introducción, este patrón sufrió algunos cambios, entre los que cabe destacar la paulatina regularización de sus dimensiones. Al principio, en el caso de los cañones de 6 libras, los tres largos disponibles eran 8, 8 ½ y 9 pies (ca. 244, 259 y 274 cm, respectivamente), condición que se mantuvo estable hasta 1742. A partir de esta fecha y hasta su ocaso, hacia fines del siglo xviii, los cañones de este modelo se hicieron cada vez más cortos, predominando los de 6 pies, es decir ca.

¹² El modelo básico de cañón de avancarga fue común a las tres potencias marítimas y se mantuvo prácticamente sin alteraciones significativas hasta comienzos del siglo xix. Si se nos permite una licencia contrafactual, es probable que la dotación del *Sovereign of the Seas* (1637-1697) hubiera estado medianamente capacitada para operar el *HMS Victory* (1765 - en servicio), dadas las semejanzas que guardaban entre sí estos dos buques de 1ra. clase (Sanjurjo Jul 2007:24).

183 cm. Los principales aspectos distintivos que presentaba el patrón *Armstrong* eran los siguientes: dos bandas delante de los muñones y una sola detrás de ellos, una placa rectangular sobresaliente a la altura del oído, una insignia con las inscripciones GR2 o GR3 (*George Rex II* y *George Rex III*, respectivamente) y la marca del fundidor en los muñones (Brown 2009).¹³

Las características generales de este modelo se pueden apreciar en la ilustración de la supuesta pieza del *HMS Agamemnon* (1809), que presentamos más arriba (véase la Fig. 8.3). Cañones de hierro similares fueron localizados en otros sitios británicos que datan de los reinados de Jorge II y III (e.g. Maisonneuve 1992; Gesner 1998; Franklin 2005; Flynn 2006; Elkin et al. 2011).

Calibre, largo, refuerzo y peso de los cañones

Los cañones que se destinaban a las armadas debían cumplir con una serie de especificaciones técnicas, requisito que se certificaba luego de superar un riguroso control a cargo de los órganos responsables de la artillería. En cambio, las piezas que llevaban a bordo los barcos mercantes, que habían sido fundidas para tal fin, solían ser de inferior calidad. Las diferencias, por supuesto, estaban reflejadas en el coste de producción (sin contar, para el primer caso, el costo adicional que insumía el examen de las piezas). Algunos de los cambios que se introdujeron en la producción de cañones para el servicio naval (e.g. el barrenado y torneado exterior), por lo general fueron exclusivos de este ámbito.¹⁴ El calibre, largo,

¹³ Algunas de estas marcas, en especial el calibre y la flecha del Almirantazgo, no eran exclusivas de los cañones. También solían plasmarse sobre otros elementos del armamento tales como las cureñas y algunos de los accesorios con los que se operaban las piezas.

¹⁴ La Compañía Británica de las Indias Orientales (*English East India Company*, EIC) fue, en cierta época de su vida, un caso aparte. Esta empresa de capitales privados, fundada en 1600, alcanzó a tener el control comercial de una vasta región en Asia, que incluyó la India y varias islas del Lejano Oriente. En los comienzos tuvo sus propios barcos, pero hacia la década de 1660 implementó un sistema de chárter. Los barcos empleados por la empresa, que se conocen como *East Indiamen*, tuvieron que cumplir con ciertas instrucciones. Una de estas, muy importante debido a las continuas agresiones holandesas —su principal competencia era la Compañía Neerlandesa de las Indias Orientales (*Verenigde Oostindische Compagnie*, VOC)— y a los ataques franceses durante las guerras de fines del siglo XVIII y principios del XIX, atañó al número y el calibre de los cañones con el que estaban artillados. Al promediar el siglo XVIII, el poder de fuego de estos barcos era tal que, en ocasiones, les permitió hacer frente a buques de guerra enemigos. Respecto de su abastecimiento,

refuerzo y peso de los cañones estaban íntimamente ligados. Cada uno de estos aspectos sufrió importantes cambios que, como veremos, estuvieron relacionados entre sí y con la operatividad de las piezas utilizadas a bordo.

El calibre fue objeto de sucesivas normalizaciones a lo largo del siglo xvii y principios del siglo xviii. Para denominar los cañones, de hecho, se abandonaron paulatinamente los diversos términos usados durante el siglo xvii y, durante la segunda mitad de esta centuria, se implementó un sistema basado en el calibre (recordemos, este refiere al supuesto peso de la bala).¹⁵ Tiempo después, hacia la segunda mitad del siglo xviii, los calibres más comunes utilizados por cada armada eran los siguientes: en Gran Bretaña, 42, 32, 24, 18, 12, 8, 6, 4 y 3 (Muller 1768:56; Falconer 1780: CANON);¹⁶ y en Francia y España, 36, 24, 18, 12, 8, 6, 4 y 3 (Maritz 1758: TABLES; Rovira 1787:239).¹⁷ En la sección de municiones veremos que las balas que disparaban las piezas de las armadas, pese a ser del igual calibre (nominalmente), no tenían las mismas dimensiones. Ello se debía a que las unidades de masa a las que cada armada adhería eran diferentes (una libra no representaba el mismo peso en Inglaterra que en Francia, o que en España) y a que el peso específico del hierro utilizado para calcular el diámetro de las balas también mostró variaciones de un lugar y tiempo a otro (véase el anexo 5).

durante la primera década de aquella centuria fue práctica común que los cañones de hierro colado que habían sido rechazados para el servicio en la Real Armada, ya fuera porque no cumplían con las especificaciones, porque no habían superado las pruebas o porque se habían entregado demasiado tarde (una vez concluida la guerra), fueran destinados a la marina mercante. Previamente, se borraban las marcas que hacían alusión a la Corona, aunque podían conservar aquellas relativas a la fundición y el fabricante. La producción específica de cañones para este ámbito también tuvo un lugar muy importante, en especial para los fundidores, ya que la demanda de piezas para las flotas de comercio era, por las características de la propia actividad, de carácter regular. Pero dentro de este contexto de creciente consolidación y estandarización de los barcos fletados, la compañía ajustó los estándares de los cañones con que se abastecían sus barcos hacia la década de 1750. Así, estos tuvieron que cumplir con las pruebas de calidad que se llevaban a cabo en el arsenal de Woolwich (Brown 1995:114-118).

¹⁵ A partir del siglo xix, con la creciente utilización de las bombas, el calibre de los cañones pasó a ser descrito según el valor del diámetro del ánima en pulgadas. Rovira había mencionado tiempo atrás la necesidad de clasificar las balas según el diámetro en pulgadas, dado que el peso de estas (según el marco de Castilla) no concordaba con el que indicaba su calibre, que se determinaba a partir de las medidas utilizadas por los franceses (Rovira 1773:110-111). El calibre de los morteros estaba definido por el diámetro del ánima a la altura de la boca (Bryce 1984:43).

¹⁶ Para mayor información sobre los diferentes calibres británicos utilizados entre 1700 y 1815, véase Hohimer (1983).

¹⁷ También existían piezas de menor calibre (2, 1 y ½).

Era importante, tal como notó Rovira, que el diámetro del ánima de los cañones variaba sensiblemente de una pieza a otra, a fin de poder distinguir con facilidad sus balas y evitar confusiones en el fragor de la batalla. Cometer un error con respecto al tamaño de la bala era un asunto serio, ya que si esta se atoraba dentro del cañón era probable que lo hiciera inservible. Este riesgo no se aplicaba a los calibres desde 36 hasta 12, aunque sí estaba presente en el caso de los más pequeños: 8, 6, 4 y 3. Por ello es que no era conveniente que en un mismo barco se emplearan dos de estos calibres inmediatos. Era preciso tener en cuenta, además, que el diámetro del ánima a la altura de la boca iba sufriendo acrecentamiento con el uso (Rovira 1773:109, 1787:240). Por todo lo antedicho es que se contaba con instrumentos que permitían identificar el calibre de las piezas. Algunos tenían doble escala, una para las piezas propias y otra para las extranjeras que, se sabía, presentaban diferencias entre sí.

El peso también recibió la atención de los expertos de la época, debido a los efectos perjudiciales que ocasionaban los cañones sobre las cubiertas y costados de los barcos, sobre todo en una época que asistió a un incremento en el número de piezas de las baterías. La preocupación por este asunto quedó reflejada a partir de mediados del siglo XVIII por una serie de cambios, esencialmente en torno al largo y refuerzo de los cañones, efectuados con el fin de aliviar las piezas.¹⁸ Recordemos que los cañones de hierro eran más pesados que los de bronce (para un mismo calibre). La obra de Muller (1768) es sugerente al respecto. En la tabla 8.1 reproducimos el largo y peso de los cañones de bronce y de hierro de mayor porte, según Muller (1768). Como puede apreciarse, los cañones de bronce eran significativamente más livianos que los de hierro. Este autor presentó, con relación a estos últimos, dos variantes. Los unos (*old*), que se encontraban en servicio regularmente, eran más largos y pesados que los otros (*new*).¹⁹

La cuestión del largo de los cañones fue cobrando relevancia a partir del siglo XVII. Desde entonces, esta variable intentó optimizarse, dadas las implicaciones que tenía sobre el peso y la maniobra de las piezas a bordo de los barcos. Durante

¹⁸ En el siglo XVII, la reducción del peso de los diversos calibres permitió a los británicos aumentar el número de piezas de sus barcos de guerra (Rodger 2006:224).

¹⁹ Los valores expuestos en las ordenanzas británicas de 1764 para el largo y peso de los cañones navales de hierro son ligeramente diferentes a los anteriores. Allí también se ilustra la variedad de largos que podían encontrarse para un mismo calibre (véase McConnell 1988:411).

mucho tiempo prevaleció entre los artilleros la idea de que existía una relación directa entre ambas variables (i.e. a mayor largo, más alcance). Dada esta supuesta correspondencia, acortar los cañones no fue una tarea sencilla. Rovira señaló que, pese a que existía acuerdo entre los especialistas en que la cantidad de pólvora utilizada influía en el mayor o menor impulso que recibía la bala, así como en que el largo tenía implicaciones sobre el alcance de esta, los diversos cálculos realizados al respecto no habían permitido aún conocer las proporciones más convenientes. Para resolver el asunto se había recurrido a la experiencia, pero según este autor las piezas que subsistían en la Marina de Guerra no tenían las debidas proporciones (Rovira 1773:65,67). En la figura 8.6 reproducimos los modelos de cañones españoles de los reglamentos de 1752 y 1765, analizados por este autor.

A principios de la década de 1740 apareció una obra, a la que ya hicimos referencia, que tendría serias implicaciones sobre las dimensiones de las piezas de artillería: el tratado de Robins *New Principles of Gunnery*. Este motivó en Inglaterra y Francia la realización de una serie de experimentos que vinieron a zanjar una discusión que tenía larga data: el efecto del largo de los cañones sobre el alcance de la bala. Los exámenes mostraban que, para una misma carga propelente, cañones más cortos que los utilizados habitualmente lograban un mayor alcance. La sorpresa no fue menor. Así lo describió Rovira:

“El acaso no esperado, y contrario à la antigua preocupacion, de que las Piezas habian de tener sus alcances con proporcion à la longitud, hizo mirar como fenòmeno, que de dos Piezas de un mismo calibre, impeliese la bala mas lexos la mas corta, y que una misma Pieza reducida à menor longitud tuviese mayor alcance” (Rovira 1773:67).

Las pruebas realizadas por diversos especialistas consistieron, según el conocimiento del que disponía aquel autor sobre las experiencias nacionales y extranjeras, en mantener una carga e ir variando el largo de las piezas, hasta determinar cuál era el largo con el que se lograba el mayor alcance para cada calibre. En su lugar, Rovira propuso modificar la cantidad de carga para cada largo, a fin de establecer la relación óptica entre estas dos variables para cada calibre en

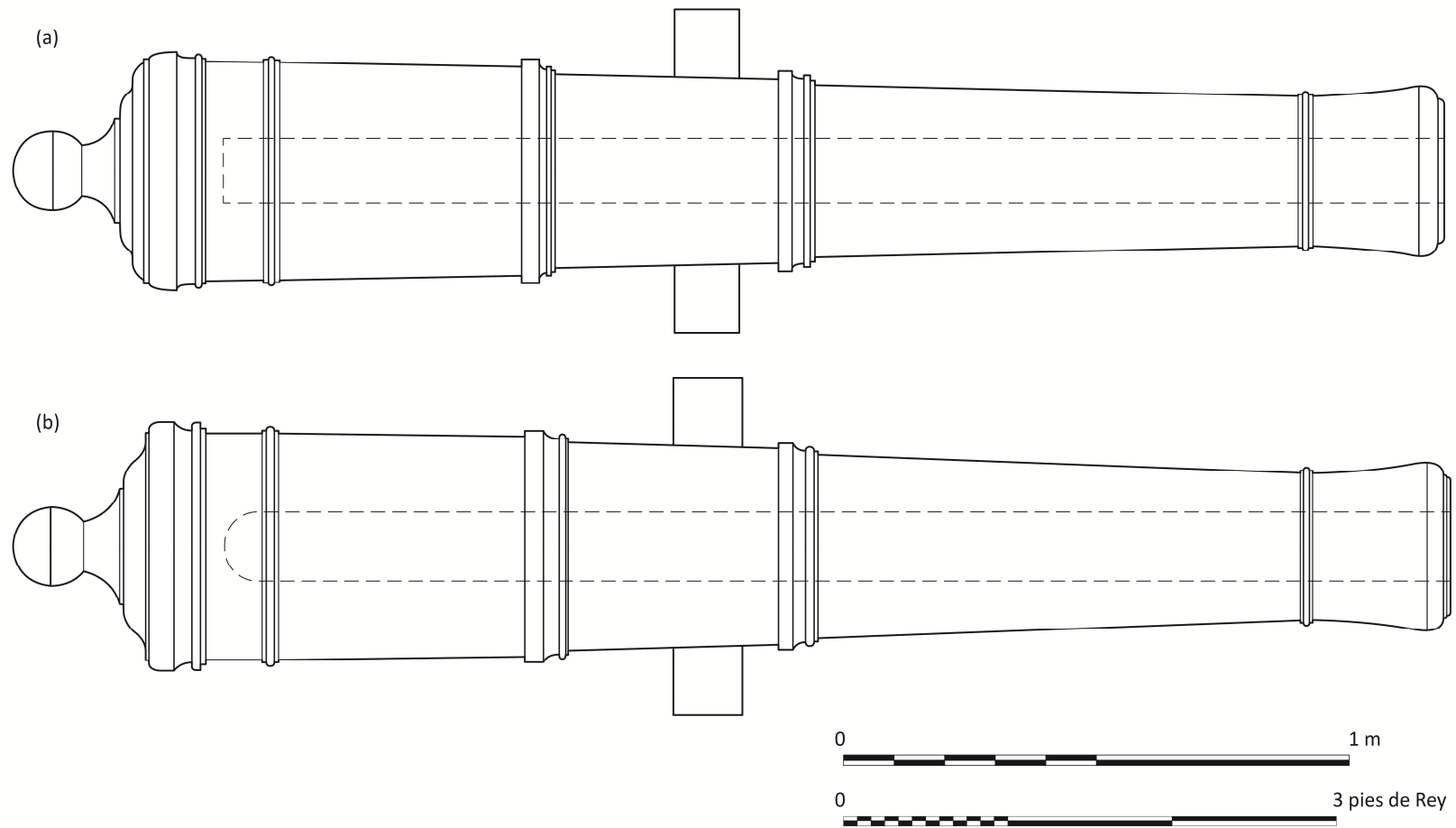


FIGURA 8.6 – CAÑONES ESPAÑOLES DE 24 LIBRAS.

Modelos de cañones españoles de 24 libras, basados en los Reglamentos de: (a) 1752; y (b) 1765. Reproducidos en el *Compendio de Matemáticas* de Rovira (1773: lámina 2, figs. 28 y 29, respectivamente).

Gráfico: N. Ciarlo 2014.

particular, atendiendo siempre al alcance que logre la bala (véase Rovira 1773:68-71). En breve, la principal repercusión que ello tuvo en la práctica fue la reducción del largo de los cañones, hecho que quedó plasmado en las nuevas ordenanzas navales de Inglaterra, primero, y Francia, poco tiempo después (Sanjurjo Jul 2007:37).

Además del alcance, de importancia por obvias razones (en especial en los cañones de plaza y de campaña), se tuvieron en cuenta otras variables (ajenas a la balística) a la hora de establecer el largo de las piezas empleadas en la armada. Los combates navales en formación de línea solían entablarse a una distancia relativamente cercana, que no requería que las piezas tuvieran un alcance semejante al de las empleadas en la defensa desde una batería de costa, con las que se buscaba llegar a los barcos procurando que estos no hicieran lo mismo (Rovira 1773:72). Por ende, las usadas a bordo podían ser algo más cortas. Por otro lado, en un espacio reducido como el de las baterías de los barcos, cada centímetro contaba. La posibilidad de lograr una mayor cadencia en los disparos dependía, amén del entrenamiento de la dotación de cada pieza, de la facilidad de maniobra de estas últimas. Cuanto más largas eran, su manejo presentaba mayores dificultades a los marinos (e.g. eran difíciles de cargar, toda vez que sus bocas debían quedar dentro del barco luego de cada disparo).

Así fue que, acreditada su eficacia por los resultados que dimanaron de diversas experiencias, se fueron introduciendo cañones más cortos y livianos, que por varios motivos fueron considerados más ventajosos: aligeraban el peso de las baterías, a la vez que ocupaban menos espacio a bordo y eran más baratos. Junto con una paulatina reducción del peso de todas las piezas, las versiones más cortas coexistieron con las piezas anteriores. Por lo general dos largos, y en algunos casos tres o más, fueron empleados para cada calibre durante décadas (los británicos tuvieron la mayor cantidad de largos por cada calibre, en especial para las piezas de 6, 9 y 12 libras). Según consta en los escritos españoles, si había suficientes cañones cortos, se procuraba no utilizar ninguno largo en la 1a., 2a. y 3a. batería de los navíos, a fin de aliviar las cubiertas y costados. Por otro lado, en el castillo de proa y el alcázar, adonde la artillería debía asomar entre las jarcias y sobre las mesas de guarnición, era necesario utilizar cañones largos (e.g. Diaz Infante 1762:34; Rovira 1773:95). Antes ilustramos una de estas piezas (véase la Fig. 8.1).

Estas medidas resultaron ventajosas respecto de la situación previa, aunque la complejidad del asunto fue más allá, y quedó atestiguada por las discusiones que se suscitaron a la luz de los nuevos estudios. La reflexión de los especialistas en torno a la información que figuraba en las ordenanzas condujo a ulteriores mejoras, aunque a veces no alcanzaron a efectivizarse. Por ejemplo, el estudio de los momentos de inercia horizontales, permitió a Jorge Juan dar cuenta de los esfuerzos que actuaban sobre las cubiertas artilladas con los calibres reglamentarios, y especificar qué cañones eran más propicios para cada una de las baterías (véase Rovira 1773:96,97). Rovira también analizó el Real Reglamento del 31 de julio de 1765 con respecto al largo y refuerzo de las piezas, entre otros aspectos. El largo de los cañones cortos utilizados por aquel entonces cubría un rango de entre 17,5 diámetros de la bala (cañones de 36 libras) y 24 diámetros de la bala (cañones de 4 libras). Según sostuvo este autor, carecía de sentido que se emplearan de tal largo en las marinas de guerra, por la razón que comentamos. Pues, los cortos podían tener un largo equivalente a 15 diámetros de la bala del calibre correspondiente, y los largos, a 21 (Rovira 1773:97-101).

El espesor de metal (refuerzo) de los cañones también fue objeto de observaciones, nuevamente dado sus implicaciones con relación al peso. Este aspecto guardaba estrecha relación con el peso de la carga de pólvora empleada, dado que respondía a la necesidad de soportar la fuerza que se generaba al inflamarse aquella durante el disparo. De allí que el mayor espesor de la pieza se encontrara en la zona de la culata (en la base del ánima y alrededor de la carga), y fuera disminuyendo en dirección a la boca, a medida que el esfuerzo también se reducía.²⁰ La teoría aportó lo suyo a este asunto, pero nuevamente fue la experimentación la que permitió determinar el espesor necesario. Rovira planteó que las piezas de su tiempo requerían menor refuerzo que las antiguas, dado que las balas lograban mayor efecto con una carga de un tercio del peso de la bala, i.e.

²⁰ La medición del diámetro a la altura del oído es uno de los aspectos a considerar en el relevamiento de una pieza arqueológica. Durante el disparo de un cañón, la sección del oído era aquella que estaba sometida al mayor esfuerzo mecánico. Por ello es que esta era el área de mayor espesor de la pieza. Para el caso de los cañones de hierro de los siglos xvii y xviii, Roth estimó que la relación entre el diámetro medido a la altura del oído y el diámetro del ánima yace entre 2,9 y 3,7; esta proporción, llamativamente, es más baja cuanto mayor es el calibre de las piezas (Roth 1989:193). La determinación de esta relación resulta de especial importancia para analizar la operatividad de un cañón y poder realizar estudios de balística a nivel comparativo (Roth 1995:120).

la mitad de lo que se empleaba regularmente. Notó también este autor que el modo en que se reparten los refuerzos en los cañones que se empleaban en Europa era incorrecta. Al respecto, dijo, cada pieza se componía de tres cuerpos (con la forma de un cono truncado), unidos de tal forma que el diámetro de la terminación del primero es superior al diámetro del inicio del segundo, y así, de modo que quitando las molduras podría observarse entre aquellos un escalón o resalte. Dado que esta forma empleada tradicionalmente nada tenía que ver con la paulatina disminución del esfuerzo generado por la explosión de la pólvora, Rovira planteó la necesidad de fabricar los cañones de modo que su diámetro se redujera conforme a este fenómeno, i.e. que las piezas tuvieran una forma cónica a lo largo de toda su extensión (Rovira 1773:72,101-104).

Por otro lado, se intentaron aplicar otras mejoras, que tuvieron diferente grado de éxito. Entre estas, cabe notar las que tuvieron como objeto a la recámara de las piezas. Desde el último cuarto del siglo xvii se sabía que su forma tenía implicaciones importantes sobre el alcance de los morteros y cañones. Don Antonio González (?-1687), Capitán de la artillería española en Nápoles y, desde 1686, Teniente General de la artillería de los Países Bajos al servicio del emperador Leopoldo I, hizo mucho al respecto. La invención de la recámara esférica,²¹ que aplicó primero a los morteros y luego a los cañones, convirtió a estas últimas piezas en armas que por un tiempo fueron consideradas como muy superiores a las empleadas hasta entonces. La principal ventaja que tenía el uso de una recámara de esta morfología, que encierra el mayor espacio bajo la menor superficie, era que la ignición de la pólvora se producía de forma más rápida que la del resto de los cañones (de los Ríos 1767:120-127). De este modo:

“se consigue con ella, dice el señor Bigot [se refiere a Sébastien-François Bigot, vizconde de Morogues, 1706-1781, quien llegó a ser Lieutenant-Général des Armées Navales²²] mayor velocidad en el

²¹ Las recámaras cilíndricas tenían un diámetro similar al del resto del ánima (i.e. cañón de ánima seguida). En el caso de las esféricas, luego del estrechamiento a la altura de la boca de la recámara, i.e. donde termina el ánima y comienza esta última, el diámetro crecía hasta alcanzar dicha forma. Por otro lado, en las cónicas, el diámetro del ánima se reducía (de los Ríos 1805:60,61). En el trabajo de Roth pueden apreciarse las diferentes formas que tuvieron las recámaras de los cañones de hierro ‘recamarados’ (Roth 1995:125).

²² Este cargo equivalía al de Teniente General en la Real Armada española, y al de *Vice-Admiral* en la Real Armada británica.

proyecto [la bala], menor longitud y peso en las piezas, y menor gasto en todo: de suerte que su manejo y transporte es infinitamente mas fácil” (de los Ríos 1767:126).

Por estas razones tan atractivas, se introdujeron rápidamente en el servicio de varios países de Europa hacia finales del siglo xvii. Sin embargo, los cañones *a la González* presentaban una seria dificultad (esta no aplicaba a los morteros, que tenían un amplio diámetro y un corto eje): la recámara no podía limpiarse como era debido. Ello causó algunas desgracias en la práctica, de resultas que los cañones propuestos por González fueron abandonados (de los Ríos 1767:128). Debió esperarse algún tiempo más hasta que los cañones pudieran ser finalmente acortados. Una contribución importante al respecto fue realizada por Rovira, que propuso la utilización de cañones ‘recamarados’ (la recámara estaba compuesta por un cilindro cuyo diámetro y longitud equivalía a dos tercios del calibre), que fueron fundidos y probados con éxito (Rovira 1773:105,106).²³

En función de lo dicho hasta ahora, si tomamos por caso el cañón atribuido al *Agamemnon* (1809), el peso (49 quintales, 2 arrobas, 16 libras, según dicta la inscripción realizada en el objeto) se ajusta al que tenían las piezas de 24 libras que por aquel entonces se encontraban en uso en Inglaterra. En las ordenanzas figuran dos modelos para los cañones de 24 libras: el primero medía 9 pies, 6 pulgadas, y tenía un peso de 49 quintales, 0 arrobas, 0 libras; y el segundo, 9 pies, 0 pulgadas de largo, y 47 arrobas, 2 quintales, 0 libras de peso (McConnell 1988:411). Esto es coherente, además, con otras dimensiones diagnósticas, tales como el diámetro del ánima y el largo. Lo anterior sirve para ilustrar que, pese a la existencia de varias regulaciones, por lo general existían ciertas discrepancias entre estas y los cañones, considerados individualmente. Esto se relacionaba en parte con el hecho de que, debido a las características del proceso de manufactura, en la práctica no había dos cañones idénticos.

²³ Con relación a los de ánima seguida, estos presentaban una doble ventaja: a igual peso, tenían mayor calibre; y a igual carga de pólvora, lograban un alcance superior (Torrejón Chaves 1997:309).

Introducción de las carronadas y los obuses

Consideración aparte de los cañones merecen las carronadas. Estas piezas se fundieron por vez primera en 1779 en las instalaciones de la *Carron Iron Founding and Shipping Company* (de aquí en más *Carron Company*). Tenían la particularidad de ser cortas, de poco peso y mucho calibre (aunque las hubo de una amplia gama, entre 6 y 68 libras). Fernández Duro hizo referencia a las prestaciones de estos nuevos cañones:

“La poca velocidad del proyectil, que era hueco, producía en combate á corta distancia más astillas que los sólidos, y teniendo en cuenta este efecto, juntamente con las condiciones del peso, la de ocupar poco espacio y la de requerir menos brazos para el manejo, la hicieron aceptable, primero en los buques corsarios y de guerra de poco porte; después para la cubierta alta de los navío” (Fernández Duro [1895] 1972-1973: tomo 6, 386).

De esta innovación fue responsable inmediato el general británico Sir Robert Melville. Empero, los fundamentos que dieron pie a la introducción de estas armas deben buscarse en otro sitio. Antes mencionamos que la cuestión del largo de los cañones fue un asunto muy debatido, y que gracias a los aportes realizados por Robins se introdujeron los cañones cortos en los buques de guerra. Este trabajo motivó tiempo después, por razones semejantes, la implementación de las carronadas (Manucy 1985:9).

Las ventajas de este ingenio sobrepasaban ampliamente los pocos inconvenientes que podía presentar (especialmente el corto alcance del disparo). Con relación a los cañones de uso regular, las carronadas: 1) eran más livianas y de menor longitud, por lo que ocupaban menos espacio y, de este modo, las cubiertas de los buques se veían aliviadas; 2) sólo requerían de un número de tres o cuatro servidores, que estaban sujetos a menor riesgo durante el combate; 3) la facilidad y rapidez con que se operaban, en parte debido a que la cureña de corredera sobre la que iban montadas absorbía gran parte del retroceso, permitía mayor cadencia en el disparo; 4) eran más económicas en términos de la carga propelente, ya que funcionaban con una cantidad de pólvora que eran mucho menor que el peso de la bala (e.g. la primera carronada, que por sus efectos destructivos se llamó *smasher*,

disparaba una bala de 68 libras con una carga de pólvora de cinco libras y media); 5) tenían un sistema de tornillo que aseguraba una puntería más precisa, así como una base que permitía rotarlas y posicionarlas en diferentes ángulos; y 6) podían disparar una bala de mayor calibre (en proporción al peso de la pieza), que estallaba con el impacto, con lo cual su efecto era más devastador, en especial sobre la obra muerta (Torrejón Chaves 1997:310; Fremont-Barnes 2008:29). En la figura 8.7 se ilustra el plano de una carronada británica del año 1796.

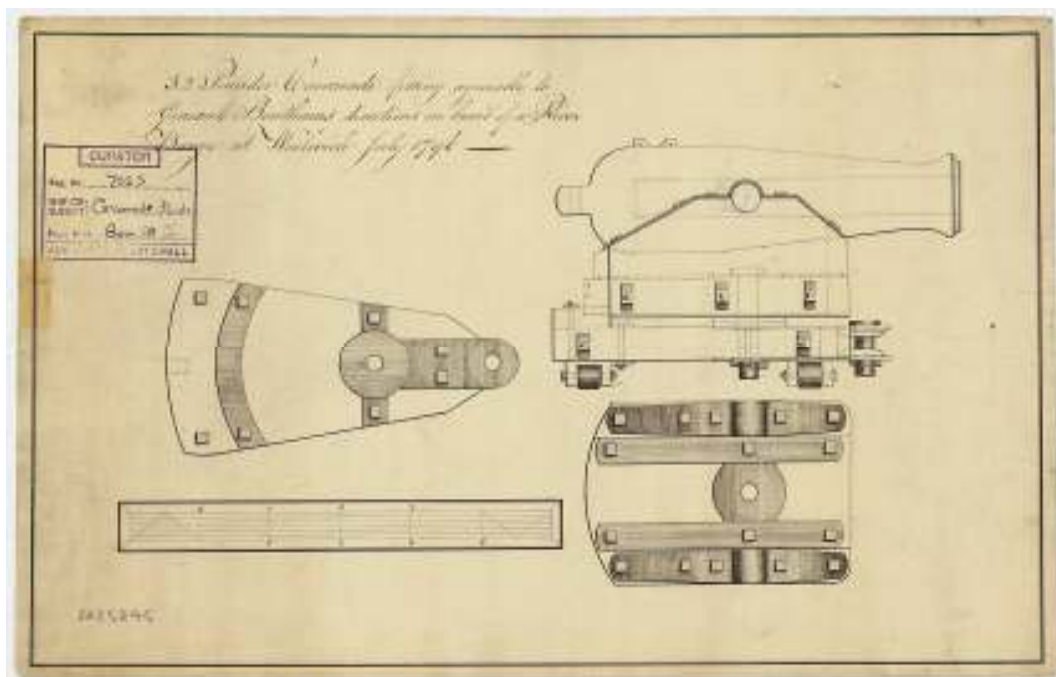


FIGURA 8.7 – CARRONADA BRITÁNICA DE 32 LIBRAS.

Título: *32 Pounder Carronade fitting agreeable to General Benthams directions on board of a River Barge at Woolwich, July 1796*. En la lámina se ilustra el alzado de la carronada, junto con su cureña y corredera (estas últimas también están dibujadas en planta). Dimensiones de la lámina: 23,7 cm x 37,5 cm.

Fuente: National Maritime Museum, Greenwich, Londres. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

En el año 1781, un total de 429 barcos pertenecientes a la Real Armada Británica disponían de carronadas como parte de su armamento, en calibres que variaban entre 12 y 68 libras. En los navíos y fragatas solían utilizarse carronadas de

68 a 32 libras, mientras que las otras se empleaban para artillar la cubierta de los barcos de menor porte. Los franceses adoptaron este tipo de piezas poco tiempo después, aunque no de forma regular. En los buques españoles, en cambio, la introducción de la novedad fue muy posterior (Fernández Duro [1895] 1972-1973: tomo 6, 386,387).²⁴

Existen algunos ejemplares de carronadas procedentes de sitios arqueológicos. Durante las operaciones de salvamento efectuadas luego del naufragio del *HMS Sirius* (1790), se recuperó la totalidad menos dos de las piezas de artillería llevada a bordo. Una de las seis carronadas fue recuperada en 1985, y la otra, en 1993. Ambas son piezas de 18 libras, poseen muñones (los modelos posteriores pasaron a montarse sobre un soporte central) y un largo similar, aunque difieren en el peso, que está marcado en las bandas, a saber: 9-2-9 (9 cwt, 2 qtr y 9 lb) y 8-2-23 (8 cwt, 2 qtr y 23 lb). Estas diferencias pueden estar relacionadas con los pequeños cambios que sufrieron estas nuevas bocas de fuego desde su introducción hasta mediados del siglo XIX (Stanbury 1998:226,227). En el sitio *Sirius* (1810) también se hallaron cuatro carronadas de 36 libras y parte del resto de la artillería de hierro (von Arnim 1998:39,40).²⁵

Además de las carronadas, en esta época también se introdujeron los obuses, conocidos también como cañones bomberos o simplemente bomberos. Estas piezas eran en apariencia similares a los cañones, aunque más cortas y de sólo dos cuerpos, y se empleaban para hacer fuego por elevación con bombas (balas huecas explosivas). Rovira propuso en 1783 la utilización de obuses largos y cortos de diferente calibre; los primeros de 60, 48, 36 y 24 libras, para ser montados en fragatas y navíos de dos puentes; los segundos, de 48, 36, 24, 18 y 12 libras, destinados a otros buques de menor porte. Durante aquella década y gran parte de la siguiente se fundieron a modo de prueba varias de estas piezas, en bronce y hierro. Luego de ser probados en reiteradas ocasiones, estos últimos fueron

²⁴ Uno de los factores que habrían influido sobre la derrota que sufrió la escuadra combinada franco-española en la batalla de Trafalgar (1805) fue la ausencia de carronadas (Desdevizes Du Dezert 1989, citado en Torrejón Chaves 1997:311).

²⁵ En 1934, un equipo de buzos supervisados por Harold Cholmley Mansfield Austen excavó los restos del *HMS Magicienne* (1778-1810), el otro barco incendiado por los británicos durante la Batalla Grand Port contra los franceses. En este sitio también se hallaron varios cañones de hierro (www.mmcs-ngo.org/en/projects/underwater-archaeology/campaigns-and-articles.aspx).

preferidos por Rovira, dado que su coste era quince veces menor que el de los primeros (véase Calvo 2014a).

José de Mazarredo Salazar (1745-1812), nombrado en 1797 comandante de todas las fuerzas navales españolas, apoyó fuertemente la propuesta de Rovira al recomendar en aquel entonces que se adoptaran estas nuevas piezas y, además, al ordenar que se fundieran en Sevilla entre 60 y 80 obuses para bombas de nueve pulgadas de diámetro. Existía una preocupación por este tipo de piezas, debido a la munición que se llevaba a bordo. Durante algún tiempo, la Armada francesa abandonó este tipo de artillería, cuya munición se consideró la responsable de la pérdida del buque insignia *L'Orient*, que voló en 1798 durante la batalla naval de la bahía de Aboukir. La aceptación dentro de la Armada española tampoco fue clara (Torrejón Chaves 1997:309, 310).

Una ordenanza de fecha 21 de octubre de 1803 dictó la incorporación de los obuses de hierro de los calibres 48 a 12, que habían sido propuestos por Rovira, aunque no alcanzaron a generalizarse (Fernández Duro [1895] 1972-1973: tomo 8, 420). Los obuses de Rovira constituyeron los antecedentes más notables —y probablemente sentaron las bases para el desarrollo— de la artillería que presentó el oficial del Ejército francés Henri-Joseph Paixhans, veterano de las Guerras Napoleónicas, en su obra *Nouvelle force maritime*, publicada en 1822. La precisión y efecto demoledor de las nuevas piezas llevó a su aceptación dentro de la Armada francesa en el año 1824, así como a su incorporación en otras Marinas de Guerra europeas, entre ellas la británica (véase Martínez de Espinosa y Tacón 1849:164; Kinard 2007:235,236).

Las instalaciones fabriles

Situación general de las fábricas de artillería

La manufactura de la artillería del siglo XVIII, sobre la que hablaremos en detalle en el siguiente acápite, se realizó en fundiciones gubernamentales o de capitales privados, que oficiaban como contratistas de la armada. Algunas de estas consistieron en verdaderos complejos siderúrgicos especializados, que

abastecieron durante décadas a los buques de guerra de las Coronas nacionales y, en ocasiones, a los del extranjero. Otras, en cambio, fueron fábricas dedicadas a la producción de artefactos de hierro colado de diversa índole. En la época que nos ocupa, Gran Bretaña llevó la delantera en lo que a cantidad de instalaciones fabriles y número de cañones fundidos respecta.

Brown dedicó varios trabajos al análisis de la artillería utilizada en Inglaterra, con especial referencia al siglo XVIII (e.g. Brown 1989, 1995). Esta autora realizó un aporte significativo, desde una perspectiva histórico-arqueológica, al conocimiento de los cañones empleados por la Real Armada y los barcos mercantes británicos, en particular sobre el contexto de producción y circulación de las piezas. De nuestro interés es mencionar que la fundición de cañones en Inglaterra estuvo centrada hasta mediados del siglo XVIII en el sudeste, en los condados de Sussex y Kent (industrial del Weald). También aportó valiosa información sobre las principales fundiciones, contratistas y subcontratistas que abastecieron a la Real Armada británica durante la segunda mitad del siglo XVIII, y en particular sobre cómo identificarlas a partir de la evidencia material (véase Brown 1989).²⁶ Debido a la competencia generada por el menor precio de los hornos que utilizaban coque, nuevas fundiciones se establecieron en otras parte de Inglaterra y en Escocia a fines de la década de 1780 (Rodger 2006:378).

En los bancos del río Carrón, cerca de la localidad de Falkirk (Stirlingshire) funcionó durante parte de la segunda mitad del siglo XVIII una de las más renombradas fundiciones de cañones, de cuyo nombre derivó el de las carronadas. La *Carron Company* fue fundada en 1759, durante la Guerra de los Siete Años. Esta empresa, que sobrepasó en competencia a otros fundidores del mercado, proveyó de cañones a la Armada británica entre fines de la década de 1760 y principios de la siguiente. El contrato con la empresa quedaría cancelado debido a la cantidad de fallas que experimentaron los cañones durante estos años. La medida adoptada por la armada incluyó retirar a las piezas del servicio, a tal punto que no figuran en los listados de cañones anteriores a 1775, fecha en la que el Consejo de Artillería decidió emplear únicamente piezas fundidas en sólido (Brown 1989:326).

²⁶ Hasta la fecha, el principal medio disponible para reconocer la procedencia de los cañones son las marcas de fabricación (iniciales o nombre de la fundición y/o el fundidor) que conservan en algunas de sus partes. En el caso de las piezas de origen británico, estas marcas se ubicaban en la cara de los muñones, a uno o ambos lados (véase más abajo).

En Francia también existieron varias empresas que se dedicaron a la fundición de cañones y municiones para abastecer a la Marina de Guerra. Dentro del período de interés, podemos mencionar las siguientes: Ruelle e Indret. Otros sitios importantes adonde se fundían cañones de hierro en la época fueron Creusot (véase el capítulo 2), Nevers y Saint-Gervais (Taillemite 2003:456). Es interesante notar que estas industrias metalúrgicas no tenían otros mercados más allá del estado, por lo que dependían estrechamente de las finanzas destinadas a la armada (Rodger 2006:379).

La fundición sita en la población de Ruelle (en Ruelle-sur-Touvre, Charante, región de Poitou-Charentes) comenzó a funcionar en el año 1753. En esa localidad, a orillas del río Touvre, el ingeniero militar francés Marc-René de Montalembert, marqués de Montalembert (1714-1800) instaló dos altos hornos, cuya producción estuvo destinada a abastecer a los barcos de guerra. En 1776, la fundición pasó a manos del gobierno, y en 1782 adquirió el nombre de Fundición Real de la Marina. Una década más tarde fue denominada Fundición Nacional de Ruelle (*Fonderie Nationale de Ruelle*). A lo largo de los años, estas instalaciones sufrieron diversas modificaciones, entre las que cabe citar las realizadas entre los años 1788 y 1795, sobre la base del modelo de Indret. Esta fundición tuvo una extensa trayectoria, que alcanzó el siglo xx (Conturie 1951).

Indret constituyó una de las usinas de mayor importancia de la segunda mitad del siglo xviii y principios del siglo xix. Esta fundición fue visitada y descripta por el español Agustín de Betancourt y Molina, en 1791, en el manuscrito titulado *Descripción del establecimiento de Yndrit, donde se funden y barrenan los cañones de hierro para la Marina Real de Francia*. Este sitio concentró varias innovaciones técnicas importantes. En 1777-1778, el ingeniero británico William Wilkinson (hermano de John Wilkinson) instaló allí una fundición de segunda fusión a la inglesa (con horno de reverbero), en la que se utilizaron cañones rechazados o perimidos y el hierro procedente de Bretaña y Berry. Allí también instaló un enorme molino de marea, con dos ruedas, que accionaba la maquinaria para perforar cañones fundidos en sólido. Una vez finalizadas las obras y trabajando a su máxima capacidad, se calcula que podían fabricarse unos 1.200 cañones al año. En 1786, con miras a aumentar la producción, se introdujo la máquina de rotación de simple efecto de Jacques-Constantin Perier para accionar los taladros, aunque

continuó empleándose la energía mareomotriz. Perier y Wendel fueron los encargados de administrar esta fundición y la de Creusot. Indret funcionó hasta 1827, cuando fue reemplazada por la fábrica de máquinas de vapor para los barcos de la Marina de Guerra (véase Menanteau 1999; Bret 2009, para más información sobre el equipamiento de esta usina).

Otra fábrica de cañones, que estuvo vinculada con la anterior, fue la fundición *Forge Neuve*. Al igual que en el caso de Ruelle, durante la revolución estas instalaciones pasaron a manos de la República. Las iniciales que representaban a la fundición eran *F N*. Esta leyenda fue identificada en un cañón del *Fougueux* (1805) y en otro del *Bucentaure* (1805); en este último se pudo apreciar, además, la fecha de fundición de la pieza, que data de 1780 (Rodríguez Mariscal 2010:173). Entre otras marcas, el rasgo distintivo de las piezas de origen francés era la flor de lis. Esta, vale recordar, también solía grabarse en las anclas. En el sitio *Machault* (1761) se localizaron dos cañones de 12 libras, que exhiben este atributo en diferentes sectores (primer cuerpo, segundo cuerpo y cuello de las piezas). Otro de los cañones de similar calibre está marcado con varias anclas (Bryce 1984:42,47).

Volviendo la mirada a España, el complejo de Liérganes y La Cavada, sito a la vera del río Miera en la montaña santanderina, fue vital para el plan de reflotamiento de la Real Armada a principios del siglo XVIII. Los cañones procedentes de estas dos fábricas sirvieron para artillar a los barcos españoles, con la salvedad de algunos años, durante su existencia (entre 1622 y 1834). Esta larga historia está expuesta mejor que en cualquier otra obra en el trabajo de Alcalá-Zamora (2004). Estas fundiciones pertenecieron a manos privadas gran parte de su historia. En 1763, al quedar rescindido el contrato con el Marqués de Villacastel, las instalaciones quedaron en manos de la Real Hacienda. A la larga, las consecuencias financieras, administrativas y productivas de este traspaso fueron negativas. En esta época también se llevaron a cabo algunos cambios a nivel técnico. Por la importancia que tuvo en España y en otras potencias europeas, debemos señalar la puesta en práctica de la fundición *en sólido*, con posterior barrenado para dar forma al ánima. En 1781, por Real Orden, el complejo pasó a ser dirigido por la armada. Al poco tiempo, debido a una serie de fallas que presentaron los nuevos

cañones, se volvió al método anterior de fundición *en hueco* (véase más abajo).²⁷ En 1783 se publicó la *Instrucción para el gobierno y régimen de las fábricas de artillería de Liérganes y La Cavada*, dada por Antonio Valdés, y que con algunas adiciones estuvieron vigentes durante largo tiempo. La crudeza de la crisis forestal alcanzó un punto crítico a principios de la década de 1790 y los intentos por fundir con coque resultaron vanos.²⁸ En el año 1795 los hornos de Liérganes fundieron por última vez, mientras que en La Cavada apenas funcionaron dos en los últimos años de la centuria (véase Alcalá-Zamora 1999, 2004).

Los cañones que se fundieron en estos hornos formaron el grueso de la artillería disponible durante la época que nos ocupa y fueron de reputada calidad. Alcalá-Zamora estimó que durante los años de servicio de las fábricas se produjo un total de 26.000 cañones útiles y municiones de variado tipo para realizar unos 6.000.000 de disparos. Hacia 1791, la producción media diaria de cada uno de los seis hornos del complejo llegaba a los 44 quintales (2.024 kg). Teniendo en cuenta que cada pieza debía realizarse en una sola colada, el hierro que se obtenía diariamente de dos hornos unidos alcanzaba para fundir un cañón de 36 libras (Alcalá-Zamora 1999:76,78). Setién y Díez-Aja resaltaron que el principal objetivo de estas instalaciones fue conseguir un producto dúctil (fundición gris), tanto para los cañones como para las municiones. No obstante, la poca altura de los hornos y la limitada capacidad de soplado —esta se encontraba condicionada por la energía hidráulica con que se accionaban los fuelles—, impidieron obtener este tipo de fundición de un modo regular (véase Setién y Díez-Aja 2008, para mayor información sobre la composición química de las escorias y una bala de cañón elaborada en estos hornos). Existieron otras fábricas en el país que, en menor medida, sirvieron para abastecer a los barcos de la Real Armada española. La mayoría de estas empresas se erigieron durante la segunda mitad del siglo XVIII. Entre estas se encuentran la Real Fundición de hierro colado de Jimena, en Cádiz.²⁹

²⁷ Rovira también dio cuenta de este problema, aunque destacó que no era claro si la razón de las fallas se debía al método de barrenado, a la calidad del material o a la impericia de los fundidores (Rovira 1773:102,103).

²⁸ Para mayor información sobre la producción de carbón de leña, el abastecimiento de las fábricas y el agotamiento de los bosques de Cantabria, consultar los trabajos de García Codrón (1999) y García Alonso (1999).

²⁹ Durante la segunda mitad del siglo XVIII existieron en España otras fábricas de balerío, cuya producción estuvo destinada al ejército. Tal fue el caso de la Real Fundición de Sargadelos, en

En el año 1777 se decidió establecer una Real Fábrica de Artillería capaz de surtir de cañones y balería a las posesiones en América, que estuviera gestionada y financiada por el estado. Por Real cédula de 4 de septiembre de aquel año, se mandó construir una fundición en la dehesa de Diego Diaz y Buceite, entre la Villa de Ximena (Jimena de la Frontera) y el río Guadiaro, en la actual provincia de Cádiz, Andalucía. El estado tendría los derechos exclusivos de usufructo y pagaría una cuota anual al ducado de Medina-Sydonia, en calidad de arrendamiento de las tierras. Este proyecto —al igual que otro posterior, también en la orilla del río Guadiaro— no prosperó; en su lugar, a finales de 1778 se comenzó a construir un alto horno en una de las márgenes del río Hozgarganta. Allí funcionó la fundición de hierro colado de Jimena, que cumplió un papel relevante en el abastecimiento de las fuerzas que llevaron adelante el tercer sitio de Gibraltar entre 1779 y 1783. Este alto horno fue, según Alcalá-Zamora, el de producción más corta de los diecinueve que se levantaron en España antes de 1808. El mineral de hierro y combustible (carbón vegetal) empleados eran, dada su abundancia, de procedencia local. En 1780 se encendió por primera vez el horno, y así comenzó la primera campaña de fundición. Además de balas de los calibres 24, 18, 16, 12, 8, 6, 4 y 3, se fundieron otros objetos de uso industrial y doméstico. Las actividades se suspendieron hacia 1788, luego de casi una decena de campañas, en parte debido a la instalación de un horno de reverbero (de segunda fusión) en el Real Arsenal de La Carraca,³⁰ destinado a la fabricación de municiones (Alcalá-Zamora 1978, citado en Torrejón Chaves 1997:297-303).

Fundiciones como esta constituían las fuentes regulares de abastecimiento de cañones para las armadas. En ocasiones, las potencias aliadas se prestaban asistencia mutua, por ejemplo mediante la entrega de armamento. Podemos citar a modo de ejemplo los cañones de hierro utilizados en la defensa de Cartagena contra los franceses durante la Guerra de la Independencia española (1808-1814), que pertenecían a la fragata británica *Phoebe*. Uno de estos cañones, fundido por la *Carron Company* en el año 1777, yace hoy en día expuesto en el Museo Naval de Cartagena (Fig. 8.8). Este caso nos sirve además para dar cuenta de cuan extensa

Mondoñedo, Lugo (Riera 1992:31; véase González-Pola de la Granja 1999, para un estudio específico sobre esta última).

³⁰ Este horno fue colocado por técnicos provenientes del establecimiento santanderino La Cavada, quienes previamente, en 1774, habían construido el ubicado en La Graña (Ferrol).

podía ser la vida útil de las bocas de fuego. Por supuesto, esta dependía de la calidad de cada objeto, así como del uso y cuidado que se le daba, aunque grosso modo se puede hablar de varias décadas.



FIGURA 8.8 – CAÑÓN DE HIERRO BRITÁNICO, USADO POR LOS ESPAÑOLES.

Imagen de uno de los cañones que pertenecieron a la fragata *HMS Phoebe* y fue cedido a los españoles, para ser utilizado en la defensa de Cartagena contra las fuerzas napoleónicas. En el muñón se lee: *048 / CARRON / 1777*. Estas marcas hacen referencia al número de cañón (número de serie), la fundición y la fecha (en años del calendario gregoriano) de fabricación, respectivamente.

Fotos: N. Ciarlo 2011. Museo Naval de Cartagena, España.

La *Carron Company* también remitió directamente cañones a pedido de España. No fue la única durante este tiempo, pero sí la más importante en razón del volumen de material exportado. La empresa escocesa proveyó de cañones a la Real Armada española en un momento en que ciertos problemas de abastecimiento local, debido a los defectos que presentaron muchos de los cañones fabricados

según el nuevo método en las fundiciones santanderinas, obligaron a importar parte de la artillería de los buques.³¹

Según Torrejón Chaves, en aquella fábrica se produjeron durante un tiempo piezas de muy buena calidad, que permitieron utilizar una carga que llegaba a igualar el peso de la bala, superior a la que usualmente se empleaba en los cañones de hierro y que rondaba los dos tercios del peso del proyectil (Torrejón Chaves 1997:297). Esta empresa había realizado varios ofrecimientos de suministro de cañones y balería desde principios del 1769 y reiteró su oferta en 1772 a sabiendas de la situación que estaba atravesando España. Esta aprovechó la relación favorable con los británicos y se decidió a comprarle cañones a la *Carron Company*. Mediante contrato firmado a mediados de 1773 —su cumplimiento estaba sujeto a la situación política entre los dos estados— esta empresa se comprometía a fundir los cañones (*en hueco*) conforme al diseño y los calibres de las ordenanzas españolas. Luego de su entrega, que corría por cuenta de la empresa, los cañones serían sometidos a las pruebas que solía llevar a cabo la armada y remitidos de vuelta si estas no eran superadas de forma exitosa. El Ferrol fue el principal puerto que recibió la importación de estas piezas, que se estima fueron unas 4.500, y de las que se aceptaron poco menos de las tres cuartas partes (Gil Ossorio 1974, citado en Torrejón Chaves 1997:316; véase también Amenedo Costa 2012).

El hecho que acabamos de comentar es notable, dado que, mientras la Real Armada británica optaba por rechazar los cañones de Carrón debido a la mala calidad que habían mostrado, España se decidía a comprarlos. La imperiosa necesidad de artillar sus buques debe haber actuado como un fuerte condicionante ante la imposibilidad de hacerlo por sus propios medios. Inglaterra, en cambio,

³¹ Los nuevos cañones comenzaron a producirse en las instalaciones de Santander a lo largo de la década de 1760 y se utilizaron sin novedad hasta que, a finales del año 1771, explotaron dos ejemplares en el arsenal de Ferrol. Al año siguiente volvieron a someterse a prueba alrededor de mil quinientas piezas procedentes de estas fábricas. Los resultados fueron alarmantes. El 80% de los cañones o bien reventaron o bien mostraron defectos que los tornaban inservibles. Luego de las investigaciones realizadas, los especialistas concluyeron que el problema estaba relacionado más con los minerales de hierro empleados que con el método de fabricación (Torrejón Chaves 1997:314,315).

disponía de un amplio mercado del cual abastecerse y, además, por entonces no estaba tan apremiada por conseguir nuevas piezas.³²

A continuación nos ocuparemos en detalle de la manufactura de los cañones de hierro, actividad compleja que reviste especial interés para este trabajo.

El proceso de manufactura de los cañones de hierro

Antes mencionamos la relevancia que tuvieron las piezas de artillería a medida que fue avanzando el siglo XVIII. Estos cañones se fabricaban en hierro colado (fundición de hierro gris, que era obtenido en altos hornos), mediante una técnica de moldeo que hunde sus raíces en el arte de la fundición de campanas y que fue puesta en práctica con éxito por parte de los ingleses desde el siglo XVI.³³ La tecnología siderúrgica era un tema de vital importancia. El número de cañones que cada estado podía fundir regularmente —descontamos por el momento otras formas menos sistemáticas de adquisición de cañones, e.g. mediante la captura de buques enemigos o importaciones del extranjero— estaba sujeto a la cantidad y capacidad de aquellos hornos. De estos dependía, en definitiva, el poder naval de las potencias que se enfrentaron reiteradamente por el dominio de los mares (Sanjurjo Jul 2007:27). Tal como afirmaron Derry y Williams:

“la maestría de los fundidores en la consecución de cañones (...) desempeñó un considerable papel en estos intercambios de andanadas,³⁴ que determinaron el destino de Europa con tanta frecuencia desde los tiempos de Ruyter³⁵ hasta los de Nelson (Derry y Williams [1960] 1997:220).

³² Entre 1765 y 1775, el gobierno británico no compró muchos cañones, dado el elevado número de piezas que había sido adquirido durante los años de la guerra (Tomlinson 1976, citado en Brown 1989:322).

³³ Para la obtención de cañones se requirió de grandes volúmenes de hierro colado. Por ello, los altos hornos utilizados en la época operaban de a pares. Ya dijimos que los elevados costes de los cañones de bronce llevaron a que, frente a la necesidad de contar con ingentes cantidades de barcos bien artillados, se adoptaran los cañones de hierro. Ello motivó que se buscara obtener hierro colado de mejor calidad (Torrejón Chaves 1997:295).

³⁴ Disparar una andanada consistía en realizar una descarga de los cañones —en secuencia, de un extremo al otro— de una banda o costado del buque.

³⁵ La cita refiere al célebre almirante holandés Michiel Andriaanszoon de Ruyter (1607-1676).

La fabricación de un cañón de hierro consistía en una serie de actividades que involucraba a diversos actores. Era un asunto complejo, que dependía en buena medida de los conocimientos empíricos y pericia de los artesanos. En palabras de José Alcalá-Zamora: “una negligencia minúscula en el pesaje de las cargas del mineral, un pequeño exceso de fundente, la mala preparación de la arena de un molde, un golpe descuidado en el descortezo, inutilizaban la pieza sin remedio” (Alcalá-Zamora 2004:80). El proceso puede dividirse en cuatro operaciones principales: fabricación del molde, fundición, barrenado (o calibración, según el caso) reconocimiento y pruebas. Cada etapa presentaba variantes, según la región, con relación a los materiales y los métodos empleados (e.g. el combustible de los altos hornos y el tipo de maquinaria utilizada para dar forma al ánima). No obstante, se compartían algunas prioridades: reducir los costos de producción, aumentar la resistencia de los cañones (para que no reventaran durante su uso) y reducir su peso (Sanjurjo Jul 2007:27,28).

Elaboración del molde y fundición de una pieza

Para cada pieza se hacía un molde de arena o barro, que usualmente estaba formado por tres partes: la primera para el largo del cañón, la segunda para el ánima y la tercera para la culata. Tylecote describió el proceso, sobre la base de la obra clásica de Biringuccio *De la pirotecnia* (1540). En primer lugar, se elaboraba un patrón de madera o arcilla que reproducía la morfología exterior del cañón deseado.³⁶ Luego, la superficie del patrón se cubría con ceniza o grasa, y se le aplicaba una fina película de arcilla. A continuación se elaboraba el molde, mediante sucesivas aplicaciones de este último material. Las últimas capas se reforzaban longitudinalmente con alambres de hierro. Seguido se aplicaba más arcilla y, una vez que se secaba, se construía una sólida armadura externa con varillas y bandas de hierro, que aseguraba toda la estructura del molde. El conjunto se secaba nuevamente y se extraía el patrón del interior. Entonces se colocaba el

³⁶ Los elementos que sobresalían de la superficie (e.g. adornos y muñones) eran aplicados sobre una capa de cera. Ello permitía que, una vez elaborado el molde, el patrón pudiera extraerse en sentido longitudinal (Tylecote 1976:92).

noyo cilíndrico de arcilla, con núcleo de hierro, que quedaba sujeto a la altura de la cámara y del brocal (esto último se aplica a los cañones fundidos *en hueco* o de *ánima postiza*). El molde para la culata se realizaba de modo semejante al del utilizado para el largo y su armazón exterior se acoplaba a la de este último. Al final, se realizaban los canales de colada (bebedero) y salida de gases (respiradero) a la altura del brocal. A fin de darle mayor resistencia, el molde completo se exponía al fuego. Ya listo el molde, se lo enterraba dentro de una fosa en posición vertical (boca hacia arriba) y se colaba el hierro fundido, que sangraba de los altos hornos. Al concluir el proceso, se rompía el molde y se recuperaba el cañón (Tylecote 1976:92). En *La Enciclopedia* de Diderot y d’Alembert se describe e ilustra la técnica de fundición de cañones empleada a mediados del siglo XVIII (Fig. 8.9).

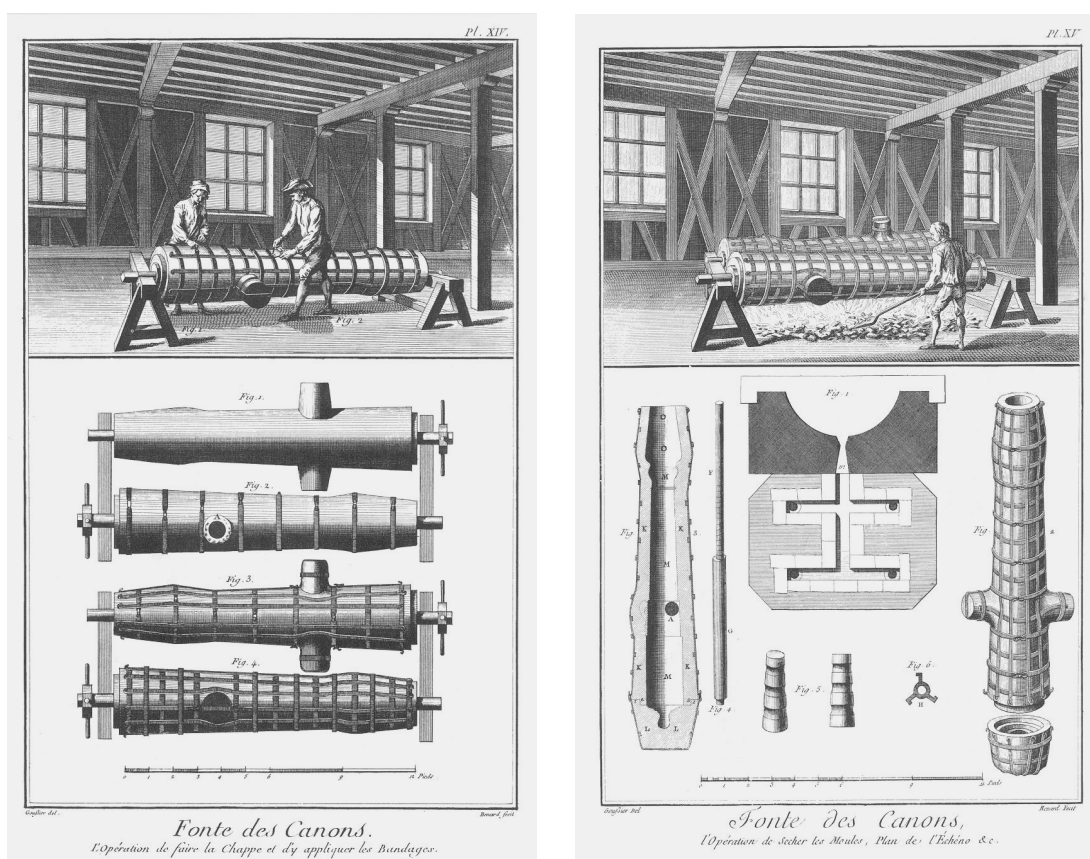


FIGURA 8.9 – PREPARACIÓN DEL MOLDE.

Operaciones finales de la preparación del molde: secuencia de mallado exterior del largo (izq.) y cocción del molde completo, i.e. largo y culata (der.).

Fuente: Diderot y d’Alembert (1767), *Arts Mécaniques, Fonderie des Canons*, láminas 14 y 15.

Una vez roto el molde... Calibración y barrenado del ánima

Cuando el cañón se extraía del molde, si había sido fundido *en hueco*, el siguiente paso consistía en la calibración o rectificación del ánima. Según Biringuccio, esta operación se realizaba con una broca ubicada en el extremo de una larga barra giratoria, que era accionada por una rueda hidráulica y penetraba en el cañón a medida que avanzaba en posición horizontal sobre una bancada. Con el tiempo, varias fueron las modalidades que se adoptaron para este sistema con relación a la posición del cañón (vertical u horizontal) y la fuerza motriz (animal o hidráulica) empleada para mover el mecanismo de perforación. El principal inconveniente asociado a la calibración era la imposibilidad de corregir por este medio cualquier defecto de alineación del ánima que pudiera tener la pieza; peor aún, en ciertos casos podía llegar a agravarlo (Derry y Williams [1960] 1997:220). Este fue el único método empleado hasta bien entrado el siglo XVIII.

La alternativa novedosa fue la fundición *en sólido*, seguida del barrenado (perforación) de la pieza para dar forma al ánima (Fig. 8.10). Esta modalidad se desarrolló y adoptó paulatinamente a lo largo de aquella centuria, con desigual éxito, por parte de las principales potencias europeas. El método anterior, sin embargo, no fue abandonado. Las operaciones de perforación hacían del barrenado de los cañones macizos una opción más costosa, por lo que su empleo estuvo restringido a las piezas que serían destinadas a la Armada. Los barcos mercantes, en cambio, continuaron haciendo uso de cañones fundidos *en hueco* (Riden 1990, citado en Brown 1995:117). La introducción de la nueva modalidad de fabricación tampoco fue inmediata. En Inglaterra, donde tuvo mayor repercusión, se generalizó a partir del último cuarto del siglo XVIII, cuando se logró perfeccionar el instrumental necesario para tal efecto (véase Usher 1988:371,372). En el volumen 1 de la *Enciclopedia* de Diderot y d'Alembert se incluyó una descripción de esta máquina:

“Escariador, s. m. *en términos de la Fundición de Cañones*, es una máquina de invención bastante reciente, utilizada para perforar los cañones, y para igualar su superficie interna (...) Para fundir los cañones sólidos, perforarlos y escariarlos, se elige el uso de esta máquina, porque estamos seguros de que esto significa no tener ni burbujas ni cámaras, inconvenientes a los que uno está más expuesto en la

fundición en hueco, por medio de un núcleo. El primer escariador fue construido en Estrasburgo. Hace mucho tiempo fue un secreto, y no se lo declaró. En la actualidad hay uno en el arsenal de París, que todos pueden apreciar. Es un escariador suficiente para tres hornos; esta máquina actúa con la suficiente rapidez para perforar tantas armas cuantas puedan fundirse en un año en un taller” (Diderot y d’Alembert 1751:254,255; la traducción es personal).

El empleo del método de fundición en sólido, pese a las ventajas que supuso, no estuvo exento de inconvenientes. En España, por ejemplo, el barrenado de cañones de bronce se desarrolló con éxito (en Sevilla y Barcelona), aunque no sucedió lo mismo con las piezas de hierro fundidas *en sólido*. Como vimos, luego de las experiencias desfavorables que se suscitaron con estas últimas, los fundidores optaron por volver al método de fundición *en hueco*, a partir del cual se obtuvieron cañones que no exhibieron la fragilidad de los anteriores. Con relación a ello, tal como afirmó Torrejón Chaves, es probable que existiera cierta actitud conservadora por parte de los fundidores españoles, pese a que por aquel entonces se sabía que la mejor forma de obtener un ánima centrada y alineada era mediante el barrenado. De hecho, ese era el camino que habían decidido seguir las demás potencias europeas (Torrejón Chaves 1997:317,318).

Las máquinas diseñadas y empleadas, en su mayoría, durante la segunda mitad del siglo XVIII y comienzos del siguiente, fueron de lo más diversas. Algunos de los casos presentados a continuación son prueba de ello. Además de las diferencias que existían entre las operaciones de calibración del ánima y barrenado, estos dispositivos pueden distinguirse en función de las variantes que presentaban con relación a los siguientes aspectos: la orientación del cañón, el mecanismo de perforación y la fuerza motriz empleada. Estas diferencias, que en modo alguno se limitan a los aspectos descritos, resultan de utilidad para comparar las principales características técnicas de los diferentes modelos en lo que a su funcionamiento respecta.

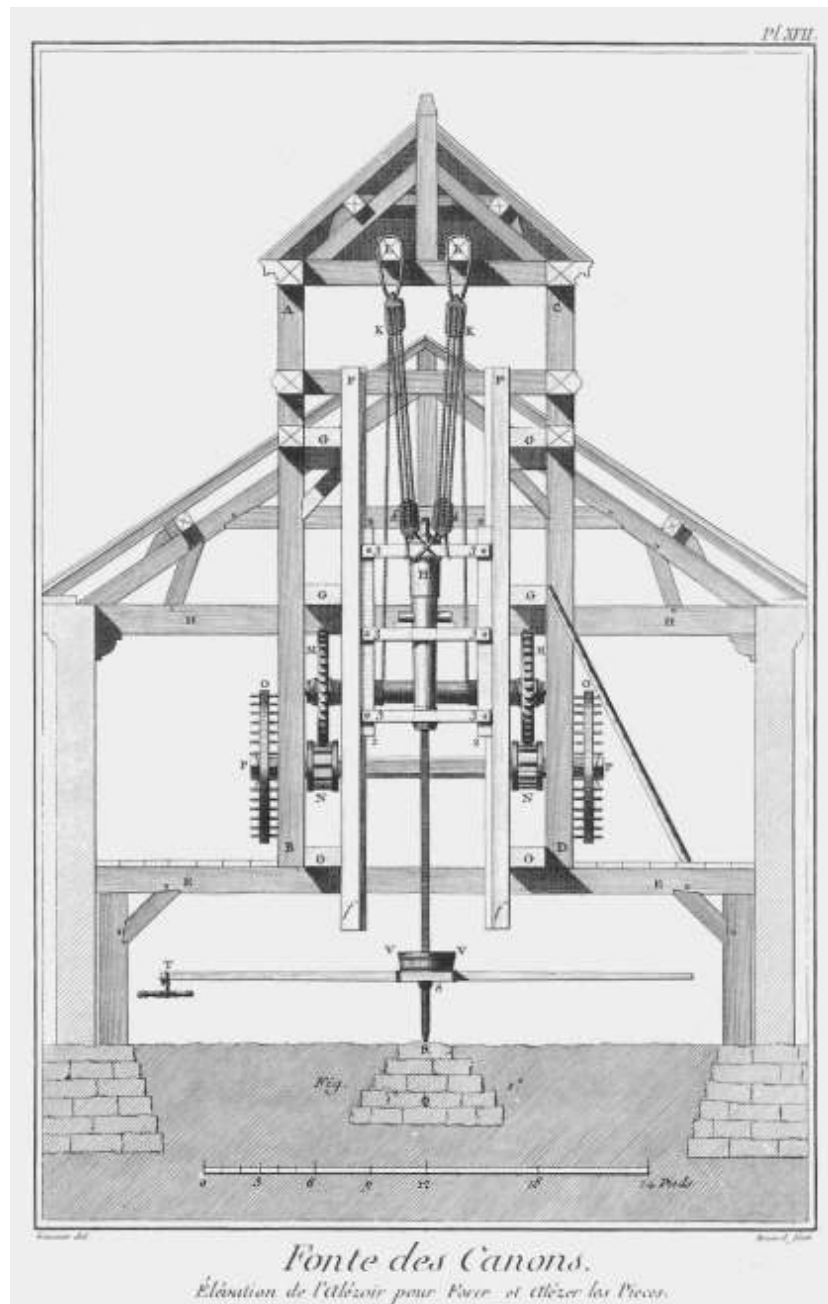


FIGURA 8.10 – MÁQUINA PARA BARRENADO VERTICAL DE CAÑONES.

El barrenado de los cañones fundidos *en sólido* permitía obtener un ánima bien alineada respecto del eje axial de las piezas. Este sistema presentó una mejora con respecto al método usual, que consistía en rectificar el ánima de los cañones obtenidos en la fundición mediante la utilización de un noyo.

Fuente: Diderot y d'Alembert (1767), *Arts Mécaniques, Fonderie des Canons*, lámina 17.

Con relación al diseño, son notorias las diferencias que exhiben las representaciones técnicas en un corto lapso de tiempo. El plano más temprano aquí considerado es una barrena de los estados de Milán, que data de 1717.³⁷ La representación de esta máquina carece de la precisión que denotan sus sucesores en los detalles del dibujo, la perspectiva y escala empleadas. Asimismo, pese a que el principio de funcionamiento de aquel ingenio es semejante al de algunos modelos más tardíos, estos últimos sobresalen en cuanto a su complejidad estructural y mecánica. Esta situación es muestra de los adelantos realizados en pocas décadas en materia de maquinaria para la producción de cañones.

Durante el período antedicho se elaboraron en España diferentes planos de máquinas para barrenar cañones macizos (algunos de estos basados en los ingenios empleados en Francia). Basta con listar algunos de los ejemplares disponibles en el Archivo General de Simancas (AGS) para ofrecer una idea aproximada de la diversidad de modelos ideados para cumplir con tal fin, a saber:

- i. 'Plano, elevación y perfiles de una máquina para taladrar el alma de los cañones fundidos en sólido y torneado a un tiempo la superficie exterior a los mismos' (Fig. 8.11). Ubicación y referencia: AGS, Secretaría de Guerra, Legajos, 00732. Dentro del expediente en el que se lee: "Barcelona, 15 diciembre de 1749. El marqués de la Mina remite el expediente original sobre el nuevo modo de barrenar cañones que ofrece Juan Bautista Delfín".
- ii. 'Máquina para abrir el alma a los cañones q[ue] se funden en mazizo'. Ubicación y referencia: AGS, Secretaría de Guerra, Legajos, 00732. Remitido por el capitán de navío Antonio de Ulloa, con fecha de 20 de marzo de 1750, en París. Es el modelo empleado en París y Lyon.
- iii. 'Diseño de una máquina para barrenar cañones'. Ubicación y referencia: AGS, Secretaría de Guerra, Legajos, 00732. El plano se encuentra entre documentación sobre máquinas de barrenar cañones. Este plano, con fecha de 1751, posee una notable semejanza con el que fue publicado en la *Enciclopedia* de Diderot y d'Alembert, arriba ilustrado. Existe una variante de esta máquina, en el mismo archivo, con igual rótulo.

³⁷ El plano original se encuentra en el Archivo General de Simancas, Secretaría de Guerra. Signatura: MPD, 46, 025. Ubicación Anterior: SGU, 00732.

- iv. 'Máquina para barrenar cañones fundidos en sólido sirviéndose del agua de un río'. Ubicación y referencia: AGS, Secretaría de Guerra, Legajos, 00732. El plano de la máquina viene acompañado de una explicación sobre su funcionamiento. Está dentro de una carpetilla sobre: "Barrenas. Estachería y Manes". Este documento se encuentra entre papeles del año 1751.
- v. 'Plan de la Construcción del Instrumento con que se Barrenan las Piezas de Artillería de fierro arregladas sus medidas y proporciones a cómo están señaladas por su Escala'. Ubicación y referencia: AGS, Secretaría de Guerra, Legajos, 00732. El documento está dentro de una carpeta que lleva la leyenda: "Máquina para barrenar cañones mazizos. 1751, n° 1". En el archivo se conservan dos planos de la máquina para barrenar cañones en sólido, uno en elevación y otro en vista de perfil.
- vi. 'Machine à decapiter les canons; Machine à cendrer; Machine à forer les lumieres'. Ubicación y referencia: AGS, Secretaría de Guerra, Legajos, 00738. Aunque este plano no ilustra una máquina para el barrenado de cañones, acompaña al documento: "Esplicación del Modelo de la Machina de varrenar cañones de Artillería Mazizos y las operaciones q[ue] se hazen con la Grande", Sevilla, 8 de noviembre de 1757, firmado por [Juan Manuel de] Porres. Adjunto a esta también se encuentran los documentos de la proposición de los fundidores franceses Juan Drouet, Francisco y Pedro Poitevin, y Pedro Brocard (véase más abajo).

Estas propuestas evidencian el serio interés que había por este sistema en España hacia mediados del siglo XVIII. Además de los ya citados arriba, cabe notar el modelo de barrena horizontal propuesto en ese entonces por algunos de los profesores de la Academia de Guardias Marinas de Cádiz, José Díaz Infante, y copiado por José Blanco (Fig. 8.12).

Fueron emigrados franceses, bajo la dirección de los maestros Jean Drouet y los hermanos François y Pierre Poitevin —estos habían trabajado en las fábricas de cañones de Angoumois y Perigord— quienes realizaron el primer intento de fundir cañones *en sólido* en España, actividad que tuvo lugar en la Real Fundición de

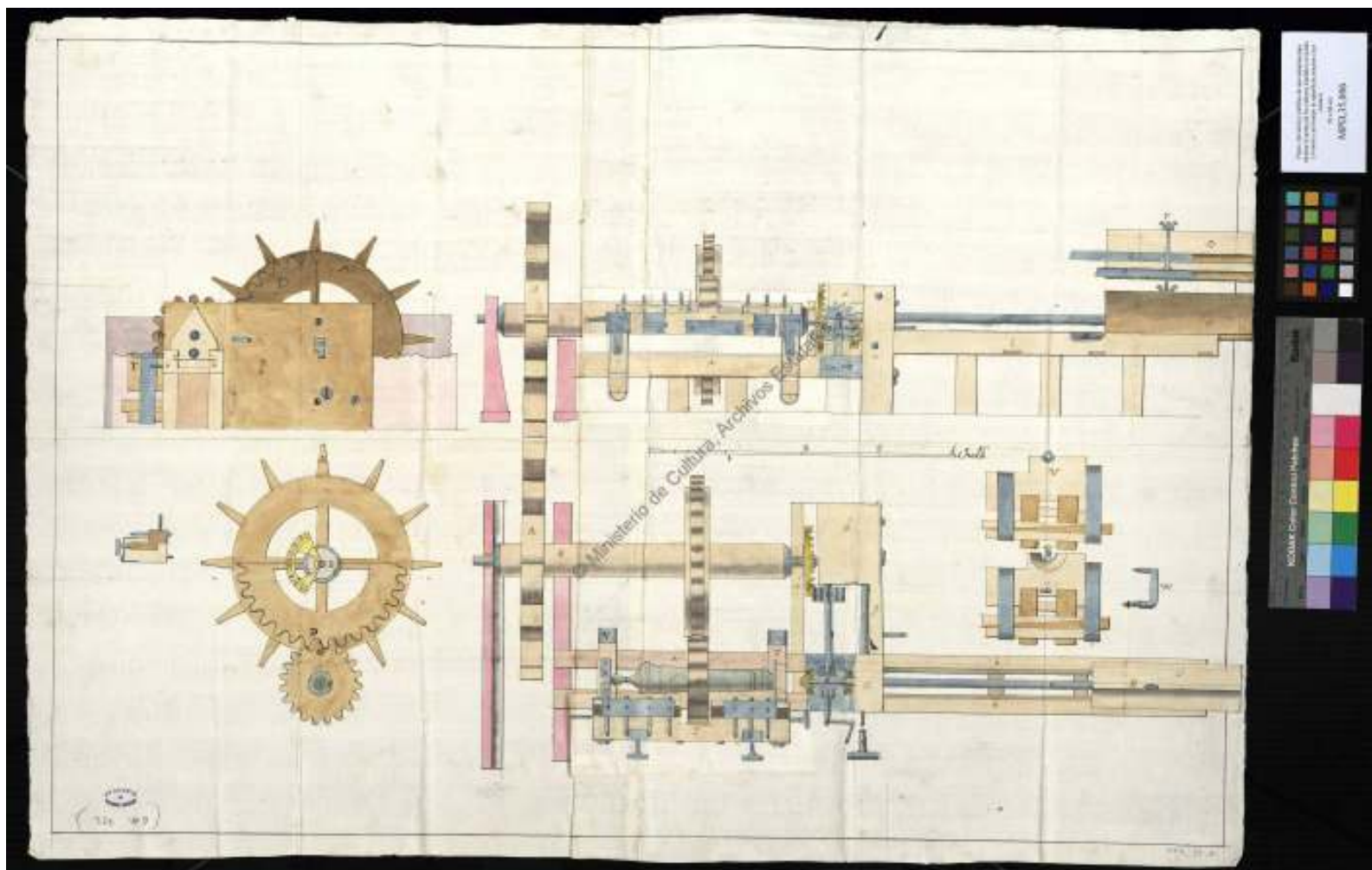


FIGURA 8.11 – MÁQUINA PARA BARRENAR Y TORNEAR CAÑONES (1749).

Plano en elevación y perfil de la máquina para barrenar y torneare cañones fundidos *en sólido*, descrito por Juan Bautista Delfín y remitido en 1749 por el Capitán General de Cataluña Jaime Miguel de Guzmán Dávalos Spínola, Marqués de la Mina (1689-1767).

Fuente: Archivo General de Simancas. Ministerio de Cultura, Archivos Estatales, España.

Artillería de Sevilla (de cañones de bronce) entre los años 1757 y 1760 (Helguera Quijada 1986, citado en Torrejón Chaves 1997:293, 298). Algunos de estos modelos probablemente estuvieron inspirados en la máquina de barrenado horizontal de Jean Maritz. Su sistema se utilizó en las fundiciones de cañones de Francia, primero en Rochefort y Ruelle, hacia 1754-1756, y luego en la usina de Indret, en 1778. En España, él mismo construyó una de estas máquinas en Barcelona, en 1766-1767, y años más tarde en Sevilla (Brest 2009:56).

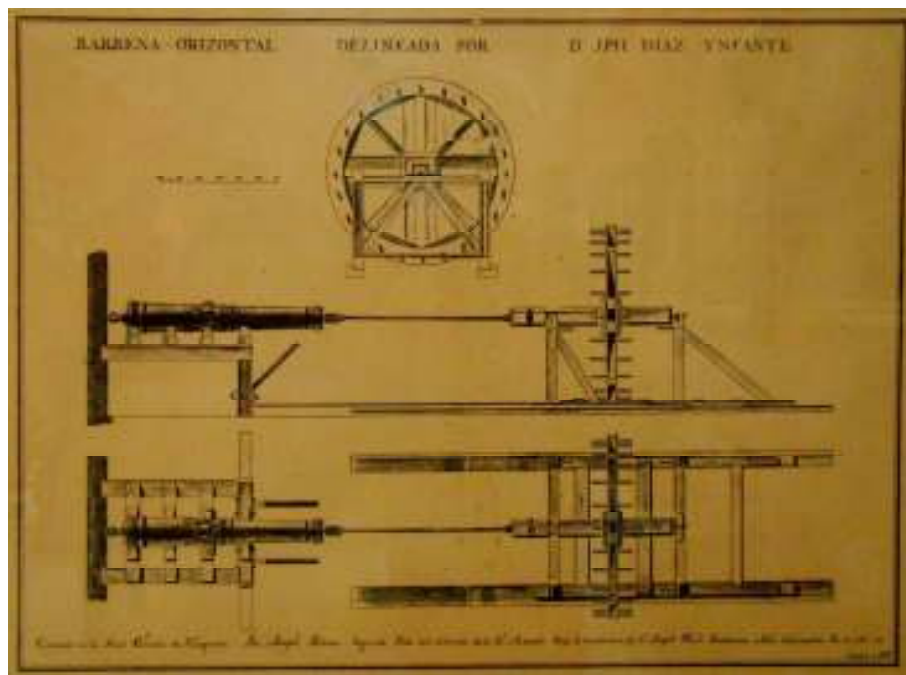


FIGURA 8.12 – BARRENA HORIZONTAL (1757).

Plano de la máquina para barrenar cañones fundidos *en sólido*, delineada por José Díaz Infante y copiada en la Real Escuela de Navegación (sita en el Departamento de Cádiz) por Joseph [José] Blanco, Segundo Piloto de la Real Armada española, bajo la corrección de Joseph [José] Francisco Badaraco (Maestro Delineador de la Real Armada en la citada Escuela), en 1757.

Foto: N. Ciarlo 2013. Museo Naval de San Fernando, Armada Española, Cádiz, España.

En la muestra del Real Colegio de Artillería de Segovia, instalado en el Alcázar, se expone la maqueta de una máquina para barrenar y torneear cañones fundidos

en sólido, basada en el diseño de Maritz (Fig. 8.13), que fue detallada por Tomás de Morla en su *Tratado de Artillería*.

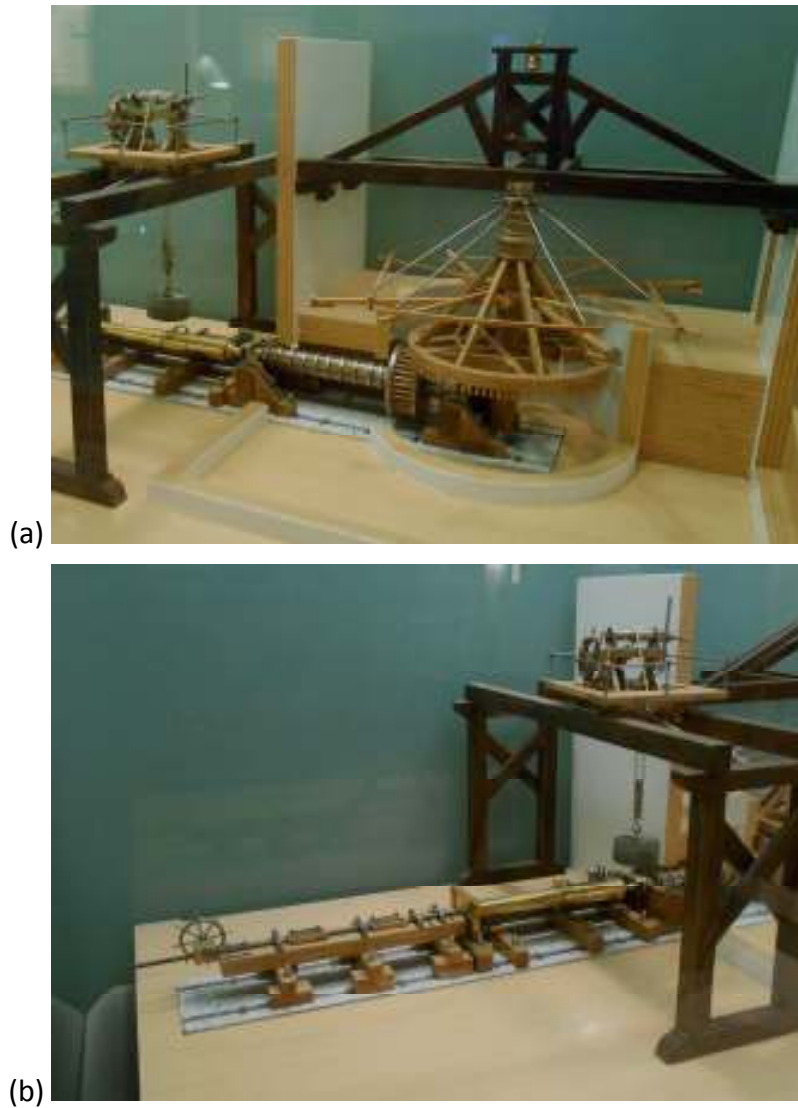


FIGURA 8.13 – MAQUETA DE INGENIO PARA BARRENAR Y TORNEAR CAÑONES.

Maqueta realizada a partir de las láminas 14 y 15 del artículo 2 de la obra *Láminas pertenecientes al Tratado de Artillería que se enseña en el Real Colegio Militar de Segovia* (de Morla 1803). Vistas: a) desde el costado de la varilla en cuyo extremo se encontraba la mecha para barrenar el cañón y b) desde el costado del mecanismo giratorio que se acoplaba a la culata de la pieza.

Foto: N. Ciarlo 2013. Real Colegio de Artillería de Segovia, España.

En el tratado mencionado —adenda a la segunda edición de la obra, de 1816, dedicada a extender la explicación de las láminas que figuran en el tomo 4—, se describen las diferentes partes del aparato de barrenado y su funcionamiento (de Morla s/año:35-49). La máquina estaba accionada por un árbol vertical de madera, reforzado con aros de hierro, que comunicaba el movimiento rotatorio a las otras partes mediante la articulación que mantenía con estas. La pieza giraba por medio de las caballerías (mulas) que iban enganchadas a los extremos de cuatro palancas, estas últimas ensambladas a los lados del árbol. Este tenía en cada uno de sus extremos un espigón de terminación cilíndrica, que por un extremo encajaba en una estructura de madera y bronce afirmada al suelo, y por el otro, iba dentro de una caja de bronce ubicada en una viga de madera. Una rueda horizontal con 88 dientes a iguales intervalos seguía el movimiento de rotación de aquel. Este sistema se articulaba con un árbol horizontal, también de madera y reforzado con bandas y aros de hierro, que descansaban sobre cabezales de madera. En cada uno de estos se colocaba una caja de bronce, que formaba una cavidad cilíndrica, destinada al giro de los espigones que salían por los extremos del árbol. En la parte próxima al árbol vertical se ubicaba la linterna, compuesta por dos ruedas paralelas entre sí, unidas por una serie de cilindros de madera. Los dientes de la rueda horizontal engranaban con los brazaletes de la linterna, de modo que el movimiento de rotación le era transmitido al árbol horizontal, que en su otro extremo se acoplaba mediante una pieza de hierro al cascabel del cañón (Fig. 8.13-a). Por otro lado, el brocal del cañón posaba sobre un cabezal de madera con dos pilares laterales, dentro de los que iba una pieza de bronce llamada luneta (de tamaño variable, según el calibre del cañón), adonde encajaba y giraba este extremo de la pieza. El cabezal podía moverse longitudinalmente, según las dimensiones de la pieza que iba a mecanizarse, y se afirmaba a una plataforma de piedra sillería construida en el terreno. Encima de este se colocaba la mesa de barrenar, que también debía desplazarse de acuerdo con el largo del cañón. Sobre el plano superior de esta, en prolongación del eje del cañón, se ubicaba la barra o caña de barrena. Esta herramienta mantenía su dirección por medio de dos juegos de platinas (tablas rectangulares que sujetaban los costados de la caña) y varias planchas de hierro colocadas de forma transversal al eje de la caña, sobre el plano superior de la mesa. Así sujeta, una vez que la máquina se ponía en movimiento, la

barrena se empujaba hacia la boca del cañón mediante la barra dentada (cremallera) de un *kric* (cric o gato) ubicado en la cabecera de la mesa. Finalmente, para montar y desmontar los cañones de la máquina se empleaba un cabriolé, que se trasladaba sobre unos brancales dispuestos en sentido transversal por encima del área destinada a las piezas de artillería (Fig. 8.13-b).

Todos estos adelantos constituyen importantes logros anteriores a la patente del reconocido ingeniero británico John Wilkinson, que en 1774 presentó una versión perfeccionada de la máquina de barrenado horizontal. Esta sería prontamente empleada con éxito para la fabricación de los tubos de la máquina de vapor de Boulton y Watt (Usher 1988:359).

Inspección y pruebas: requisitos de calidad

A fin de ser aceptados para el servicio en la Armada, los cañones debían cumplir con ciertos exámenes. Estos incluían una revisión del exterior e interior de cada pieza y, a continuación, una prueba de fuego y otra de agua, para verificar la calidad y solidez de los metales. El personal de las Armadas británica, francesa y española realizaba un estricto control de la calidad de los cañones que o bien les eran remitidos por las fábricas que dependían del estado o bien compraban a productores privados. La detección de posibles fallas, merece la pena notar, dependía en parte importante de la pericia de los artilleros encargados de realizar las pruebas. Era una tarea enteramente manual, a nivel macrosómico, ya que no se disponía de los medios necesarios para realizar una evaluación más específica.

En su *Compendio de Artillería*, Díaz Infante describió cómo se reconocían y probaban los cañones. El reconocimiento exterior se llevaba a cabo golpeando la superficie con un martillo, para ver si el sonido era o no uniforme, lo que permitía al operador experimentado reconocer posibles fisuras imperceptibles a simple vista. Luego se hacía un recorrido visual de la superficie con el fin de detectar porosidades u otras imperfecciones. También se controlaban las dimensiones y proporciones de las piezas, que debían ser acordes a las reglamentaciones vigentes. Por ejemplo, los muñones debían estar ubicados a tres séptimos de la

longitud de la pieza (desde la culata hacia la boca, espacio que se consideraba como el centro de gravedad de los cañones), sobre un mismo eje, desde la línea imaginaria que divide longitudinalmente al ánima en dos mitades. La inspección del interior estaba orientada a comprobar el diámetro del ánima (calibre), que debía ser regular en toda su extensión, y su alineación con respecto al eje de la pieza, entre otros aspectos. También se buscaba detectar otras imperfecciones. En particular, se hacía hincapié en la presencia de oquedades o cavernas (conocidas como *escarabajos*), donde podían alojarse rescoldos de un disparo, que podían encender accidentalmente la pólvora utilizada en la siguiente carga y causar así nefastos estragos (Díaz Infante 1762:13-17). Algunas de estas imperfecciones (e.g. desviación del ánima y hendiduras) eran más comunes en los cañones fundidos *en hueco*, debido al uso del noyo, mientras que eran más extrañas en las piezas que se barrenaban en sólido.

La prueba de fuego consistía en dispararlos con bala rasa. Para ello, primero se cavaba una fosa en el terreno, que se escarpaba en un extremo y se cerraba con tabloncillos de madera por el otro. El cañón se colocaba inclinado, con la boca elevada, el cascabel contra el parapeto mencionado y los muñones asegurados adelante y detrás por medio de unos piquetes clavados en la tierra, a fin de evitar el retroceso. A continuación, se cargaba la pieza. Se introducía una carga de pólvora y un taco de filástica; se atacaba y luego se introducía la bala esférica (sin imperfecciones); se colocaba otro taco de filástica y se volvía a atacar. Seguido se cebaba el cañón y se efectuaba el disparo mediante el uso de un lanzafuego (botafuego). De inmediato, un artillero tapaba el oído con la clavellina (tapón de estopa que se usaba para impedir que el polvo entrara por este orificio) y otro la boca de la pieza, utilizando para ello un taco. A partir de ello, se observaba cuidadosamente si salía humo por alguna hendidura o porosidad. Este procedimiento se realizaba tres veces. La carga de pólvora empleada en la primera operación, para el caso de los cañones de a 32 y hasta los de a 12, inclusive, tenía un peso similar al de la bala; la utilizada en la segunda, tres cuartos; y la del último disparo, dos tercios; mientras que los de a 8 se cargaban en los tres casos con el peso de la bala (aunque esta prueba era rigurosa, por lo que se consideraba prudente utilizar una carga menor). Por último, si no se detectaba falla alguna, se realizaba la prueba de agua. Con este propósito, se levantaba la boca de la pieza

por lo menos hasta los 45 grados y, luego de tapar el fogón con cera, se llenaba el ánima con agua dulce durante al menos una hora. Si se comprobaba que el cañón no sudaba significativamente desde los muñones hasta la culata, entonces se consideraba apto para el servicio (Díaz Infante 1762:17-19).

Este proceso fue asimismo descrito con mucho detalle por otros autores versados en la materia. Entre ellos destaca Rovira, que además de referirse a las operaciones de control exterior e interior hizo alusión a cada uno de los instrumentos necesarios para tal efecto. En particular, describió las características y el modo de emplear el cartabón, escuadra que servía para llevar a cabo varias de las tareas de inspección del exterior, e hizo cosa semejante para el caso del gato y el topo, herramientas utilizadas para buscar escarabajos en la superficie del ánima y examinar los hoyos o resaltes de esta última, respectivamente; en todos los casos, acompañó sus explicaciones de material gráfico. Además, a continuación dedicó una sección a los perjuicios que puede ocasionar la presencia de diferentes defectos, así como al modo de remediarlos total o parcialmente (véase Rovira 1773:122-170). Resta decir que no todos los estudiosos estaban de acuerdo con la efectividad de las pruebas de fuego y de agua que se realizaban corrientemente. Siguiendo a Muller, aquel autor propuso disparar 200 ó 300 tiros acelerados, con carga regular (el tercio del peso de la bala), o disparar sobre cureña 116 tiros con bala rasa y 16 con palanqueta. Debido a los elevados costes de esta prueba, sostuvo que podría ser muy útil para examinar un lote de piezas de un mismo metal y fundición (confiando en la regularidad del conjunto), dado que bastaría para ello aplicarla tan sólo a unas cuantas (Rovira 1773:177,178).

Una vez aprobadas, las piezas pasaban a formar parte de las baterías de un barco.³⁸ A partir de entonces, quedaban en manos de la tripulación. De su emplazamiento en los buques de guerra y uso en combate nos ocuparemos a continuación.

³⁸ Cuando los buques se encontraban desarmados, los cañones y sus cureñas eran almacenados en los parques de artillería ubicados en los arsenales de la Armada. En España, por ejemplo, en cada uno de los tres arsenales (La Carraca, Ferrol y Cartagena) había depósitos para tal fin (Torrejón Chaves 1997:311). Aquellas piezas que por alguna razón eran rechazadas para el servicio en los buques de guerra, eran devueltas al proveedor al que se le habían encargado. Alternativamente, podían ser vendidas en el mercado de segunda mano para su uso dentro del ámbito mercante.

Marcas de fábrica

Ya anticipamos que los cañones tenían ciertas marcas de fábrica, y resaltamos la importancia que estas tienen en la actualidad para realizar una identificación de ciertos aspectos técnicos de las piezas, así como del lugar y año de fundición, entre los aspectos más relevantes.

En cuanto a las bocas de fuego inglesas, según Brown, a comienzos del siglo XVIII lo usual fue que los muñones se marcaran con una o más letras. Posteriormente, se agregó algún tipo de número de serie en uno de los lados. Las combinaciones de letras eran tres: letras simples (A, B, C, etc.); pares de letras (e.g. IF, CM, etc.), por lo general juntas en un mismo muñón; y tres letras, distribuidas dos en un lado y una en el contrario. El patrón analizado indica que una única letra representaba el nombre de la fundición; dos letras hacían referencia al fundidor; y tres, a ambos. Esta autora resaltó que la identificación de las fundiciones y fundidores a partir de las marcas de fábrica, en especial para momentos previos al registro oficial de sus nombres e iniciales identificadoras (las primeras constancias del *Proof Registers* datan del año 1787), no es tarea sencilla, y puede dar lugar a equívocos. En el citado artículo, ella discute una serie de dificultades asociadas al reconocimiento de las marcas que figuran en los muñones de los cañones en fecha anterior a la década de 1780, y propuso algunos lineamientos que contribuyen a su correcta identificación (Brown 1989).

En el caso de la Marina de Guerra francesa, las ordenanzas navales precisaban dónde debían marcarse las bocas de fuego. Por caso, la siguiente configuración corresponde a lo estipulado en el año 1767: 1) sobre la faja alta, el año de fundición, el número de pieza y su peso; 2) sobre el muñón derecho, la letra o símbolo correspondiente a la fundición; y 3) sobre el muñón izquierdo, las iniciales del nombre del maestro fundidor. La ordenanza de 1786, dictará la siguiente distribución de las marcas: 1) sobre la faja alta, a la izquierda de fogón, el año de fundición, y a la derecha de este último, las iniciales del fundidor; 2) en el muñón derecho, la marca de la fundición; 3) sobre el muñón izquierdo, el peso de la pieza; y 4) sobre uno de los refuerzos, el número de pieza (Boudriot 1992, citado en Rodríguez Mariscal 2010:163,164). En este caso vemos que, incluso a falta del dato correspondiente al año de fundición, la propia ubicación de las demás marcas

puede considerarse como indicio —junto con otras características del diseño, que también son diagnósticas— para precisar el período de fabricación de una pieza.

En el capítulo 5 mencionamos algunas de las marcas registradas por el equipo del CAS-IAPH en los cañones hallados en los sitios identificados como los navíos *Fougueux* (1805) y *Bucentaure* (1805). Con relación a lo dicho anteriormente, merece la pena resaltar que en el muñón izquierdo de dos piezas del primer barco se observaron las inscripciones *P 4220* (cañón No. 3) y *P 4236* (cañón No. 24), que refieren al peso de las piezas, expresado en libras. Estos datos sugieren, por un lado, que los cañones fueron realizados según lo indicado en las ordenanzas de 1786; y por el otro, que son del calibre 18; el peso ideal, según lo expuesto en la citada ordenanza, era de 4.212 libras (Rodríguez Mariscal 2010:166,167). Nótese la leve discrepancia en el peso de ambas piezas, lo cual es consistente con lo dicho más arriba sobre el carácter único de cada boca de fuego. Otros cañones de este mismo sitio llevan el número consecutivo para el año de fundición en la faja alta. En principio, teniendo en cuenta lo expresado con relación a las ordenanzas, ello los ubica temporalmente entre los años 1767 y 1786 (Rodríguez Mariscal 2010:175).

A las marcas anteriores deben sumarse, en el caso de las piezas destinadas al servicio naval, aquellas que hacen alusión a las pruebas de fuego realizadas por el gobierno. Estas completaban el conjunto de marcas de fábrica que pueden encontrarse en los cañones de hierro de la época.

En cuanto a la metodología de identificación y registro de estas marcas, las piezas de procedencia subacuática requieren un tratamiento previo: la remoción de la concreción que cubre su superficie. Esta tarea puede llevarse a cabo o bien en el laboratorio, una vez recuperada la pieza y como parte de un proceso de estabilización y conservación, o bien en su sitio. La exposición de la superficie debajo de la concreción, con miras a registrar posibles marcas, puede generar un grave deterioro. Por ello, deben tomarse las medidas que sean necesarias a fin de generar el mínimo impacto posible, en especial en el último caso, luego de la extracción mecánica de la concreción. Una alternativa para proteger los sectores afectados consiste en cubrirlos con una resina epoxi. Este método fue empleado por los investigadores del CAS-IAPH en los sitios *Fougueux* (1805) y *Bucentaure* (1805), con muy buenos resultados (véase Rodríguez Mariscal 2010:74,164).

Disposición a bordo y operación de las baterías

A lo largo del siglo XVIII los navíos de línea se fueron haciendo más poderosos, i.e. se armaron con más piezas de artillería. En consecuencia, también se incrementó la cantidad de marineros a bordo. Dado que tan sólo una pequeña parte era necesaria para navegar un buque, durante los combates el grueso de la tripulación estaba destinado a ocupar un puesto específico bajo cubierta, en las baterías.

A mediados del 1700, las baterías de los buques podían estar compuestas por cañones largos o cortos. En algunos de los navíos de línea y fragatas españolas se prefería utilizar cañones cortos en la primera batería, de un calibre superior al de las piezas que se debían emplear en caso de no haberlos disponibles. Más aún, si había cañones cortos en cantidad suficiente, por regla general no se utilizaban piezas largas en las segundas y terceras baterías de los navíos, para que estos fueran más ligeros (Díaz Infante 1762:34). En la tabla 8.2 exponemos en calidad ilustrativa el número y calibre de los cañones con que debían artillarse las cubiertas de los barcos de guerra españoles durante la segunda mitad del siglo XVIII.

Las baterías se disponían sobre las cubiertas (o puentes) del buque, a lo largo de ambas bandas.³⁹ Los cañones se montaban sobre carros de madera, llamados cureñas de marina, que les proporcionaban soporte, elevación y movimiento. En la figura 8.14 ilustramos una típica cureña británica. El diseño y las proporciones de los carros de la Armada Británica, en particular, fueron definidos en 1725 y permanecieron prácticamente inalterados durante el resto del siglo (Flynn 2006:68).

Estos carros móviles se distinguían de aquellos utilizados en tierra, ya que poseían ciertas particularidades que respondían a su empleo en los barcos.⁴⁰ La estructura estaba compuesta por las siguientes partes: dos gualderas (costados escalonados, con un rebaje semicircular llamado muñonera); dos ejes de sección

³⁹ Tanto el espacio interior que media entre dos cubiertas, como la propia hilera de cañones en cada costado —que, desde el exterior del barco, se reconocía por las respectivas filas de portas— se denominaban batería (O'Scanlan 1831:90).

⁴⁰ Las cureñas de marina se diferenciaban de las de tierra (del tipo empleado en las guarniciones) en que eran más cortas y contaban con mayores refuerzos. Con ello se buscaba que ocuparan el menor espacio posible, pero sin comprometer su solidez (O'Scanlan 1847:137). Asimismo, las ruedas de estos carros eran de madera, a fin de proteger las cubiertas y facilitar eventuales reparaciones a bordo (Bryce 1984:43).

cuadrangular y pezones cilíndricos; dos pares de ruedas; y el telerón (tablón con un arco de círculo en su parte superior), que iba colocado entre las gualderas, al frente de la cureña. Estos componentes estaban ensamblados y sujetos mediante diferentes herrajes. El cañón apoyaba a cada uno de los costados de la cureña —por intermedio de sus muñones, que quedaban asegurados mediante un herraje denominado sobremuñonera— y en la parte trasera del carro, sobre la banqueta. Esta pieza de madera iba sobre el eje posterior y sobre una llave (perno de travesía) de hierro que se encontraba en la parte media de la cureña. Entre la banqueta y la culata solía colocarse la almohada, también de madera, y la cuña de puntería, pieza móvil semejante a la anterior pero de mayor inclinación, que servía para regular la altura del disparo. Las cureñas contaban con un sistema diferenciado de aparejos, que se aseguraban a los costados de la porta y sobre la tablazón de cubierta mediante herrajes ubicados en los laterales de la cureña, y que servían para maniobrar las piezas y amortiguar el retroceso del disparo. Las dimensiones de sus partes guardaban ciertas relaciones entre sí, que eran acordes al calibre de los cañones que montaban (véase Muller 1768:94-99; Rovira 1787:390-414; O'Scanlan 1847:137,138).⁴¹

Este tipo de cureñas requería de los siguientes elementos de sujeción y demás herrajes de hierro: cuatro pernos capuchinos, dos pernos de travesía, dos pernos de gualderas, dos sobremuñoneras, cuatro sotrozos (pernetes de hierro que atravesaban los pezones de los ejes, para evitar que las ruedas se salieran), cuatro chavetas, ocho fajas circulares para las ruedas, ocho chavetas para los pernos capuchinos, tres pernos con cáncamo (armellas, i.e. anillos con tornillo) para el eje trasero y dos argollas para el paso del braguero⁴² (O'Scanlan 1847:138).

⁴¹ Durante la navegación, los cañones se trincaban a la cureña, que iba sujeta al costado, en el sentido longitudinal del buque.

⁴² Cabo grueso que pasaba por el cascabel y se hacía firme por ambos extremos a los costados del barco, a fin de amortiguar el retroceso del disparo del cañón. En Ciscar (1830) hay una descripción de los modos de trincar la artillería a bordo.

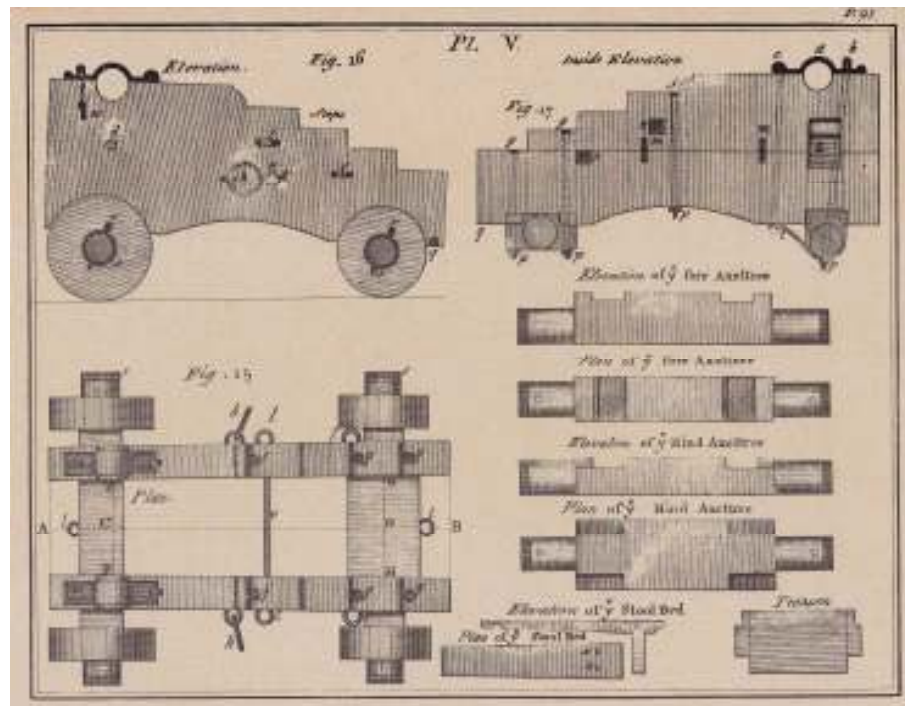


FIGURA 8.14 – PLANO DE UNA CUREÑA.

Vista lateral, exterior e interior (arriba, a diestra y siniestra, respectivamente) y vista superior (abajo, a la izquierda) de una cureña de madera (mediados del siglo XVIII). Aparte, también se ilustran las vistas de los dos ejes y de la banqueta, junto con el telerón (abajo, a la derecha). No están representadas la almohada y la cuña de puntería, que iban colocadas entre la banqueta y la culata del cañón, a la altura del eje trasero de la cureña.

Foto: extraída de la versión facsimilar del manual de artillería de Muller (1768: lámina 5), publicada por el Museum Restoration Service, Bloomfield, Ontario, Canadá.

Las cureñas sobre las que se emplazaban las carronadas se denominaban de corredera (O'Scanlan 1831:198). La principal diferencia con respecto a las otras es que retrocedían sin ruedas (sobre una plataforma de madera) y se movían lateralmente por medio de una articulación anterior y unas pequeñas ruedas en la parte posterior (Brownlee 2001:12).

La preparación y disparo de cada cañón estaba a cargo de una dotación particular (*gun-crew*), cuyo número dependía básicamente del tipo de pieza y su calibre. Las carronadas, como dijimos, requerían de una dotación relativamente menor. En la figura 8.15 podemos apreciar la dotación completa de un cañón

español de 36 libras. Esta dotación estaba a cargo de dos piezas, una a estribor y su espejo de la banda de babor, que en ocasiones debían ser disparadas en forma simultánea.



FIGURA 8.15 – DOTACIÓN DE UN CAÑÓN DE A 36.

La dotación española de un cañón de 36 libras estaba formada por 15 individuos, cada uno de los cuales tenía encomendada una tarea específica. En la imagen, de izquierda a derecha, se pueden apreciar los siguientes hombres: jefe de pieza, grumete, sirviente con botafuego, sirviente con espeque, sirviente con cartucho, sirviente con pinza, sirviente cargador (con bala), sirviente con atacador y soldado.

Foto: N. Ciarlo 2013. Museo Naval de San Fernando, Armada Española, Cádiz, España.

La preparación y accionamiento de los cañones involucraban gran cantidad de pasos y medidas precautorias, que estaban bien establecidos en los manuales de ejercicio (véase Seller 1691; Royal Navy [1778] 2004; para el caso de la Real Armada británica). Para realizar un disparo, debían realizarse los siguientes pasos (en versión simplificada): 1) se colocaba la carga de pólvora negra (con cartucho; a bordo rara vez se cargaba con cuchara), que era presionada sobre la recámara por intermedio de un atacador; 2) se introducía la bala y un taco de filástica, para que esta no rodara hacia la boca, y se volvía a atacar (cuando la pólvora se introducía a granel, con una cuchara, se colocaba otro taco antes de la bala, que también debía ser atacado); 3) se cebaba el oído del cañón con una pequeña cantidad de pólvora, la cual tenía como fin conducir la flama hacia el interior de la recámara, donde se alojaba la carga principal; 4) se apuntaba al objetivo y se disparaba, utilizando como mecanismo de ignición un utensilio con una mecha en la punta, conocido

como botafuego (antes de la introducción de las llaves de chispa; véase más abajo); y 6) se limpiaba el ánima y, si continuaban las operaciones, el ciclo volvía a comenzar (véase Muller 1768:110,111; Royal Navy [1778] 2004; Ciscar 1830:54-59; de Salas 1833:167,168).

El utillaje vinculado con la preparación y el accionamiento de los cañones estaba formado principalmente por los siguientes objetos: contenedores de pólvora, cartuchos, chilleras, tacos, atacador, cucharas, agujas, mechas, botafuegos, espeques y pies de cabra, baldes, barriletes de agua, lanadas, sacatrapos, rascadores, delantales y corchas, o tapabocas (para una descripción detallada de cada uno de ellos, consultar las obras citadas arriba). Las piezas que se empleaban durante las operaciones con los cañones, o que estaban en contacto directo con las cargas de pólvora en el depósito, eran de madera, cuero y cobre (o aleación de cobre). De este modo se buscaba evitar la ignición accidental de la pólvora y, así, las desastrosas consecuencias que ello podía traer aparejado (Sullivan 1986:36).

Con relación a lo anterior, en el último cuarto del siglo XVIII se produjo una innovación en torno al mecanismo de disparo de los cañones. Se trata de la introducción de la llave de fuego, por medio de chispa, elemento que hasta entonces se había empleado únicamente en los fusiles y otras armas personales (Fig. 8.16).

El *Invincible* (1758) fue uno de los trece barcos en los que se probó por primera vez el uso de llaves en los cañones del alcázar. El hallazgo de más de 2.000 piedras de chispa; el tamaño de muchas de estas no se condice con el de aquellas usadas en los fusiles, por lo que es probable que hayan estado destinadas a la artillería (Bingeman 1985:203, 1998:171). El traspaso efectivo de este sistema a las piezas de artillería fue obra del capitán de navío británico Sir Charles Douglas, quien realizó las modificaciones necesarias para tal fin, y lo empleó entre 1778 y 1781 en el navío de 98 cañones *HMS Duke*. Con esta, se logró una mayor cadencia y efectividad en los disparos. Los hallazgos de este tipo de dispositivos en naufragios británicos son relativamente escasos, y datan de principios del siglo XIX. Podemos mencionar el ejemplar del *HMS Sirius* (1810) (von Arnim 1998:40) y los dos mecanismos del *HMS Pomone* (1811) (Bingeman 2010:128).



FIGURA 8.16 – LLAVES DE CHISPA (CA. 1800).

Mecanismo de disparo por medio de llave de chispa: a) pieza de aleación de cobre y hierro de ca. 1800 (NG-MC-692); b) montaje de una llave francesa de principios del siglo XIX, para un cañón de 12 libras (NG-MC-698).

Fuente: Rijksmuseum (Museo Nacional de Ámsterdam, Países Bajos).
Recurso de dominio público. www.rijksmuseum.nl/nl/collectie

Este nuevo sistema fue adoptado por la Marina Francesa en el año 1787 (prototipo diseñado por el General Manson); pero como en otros casos, durante algún tiempo su uso transcurrió en paralelo con el mecanismo de botafuego. La generalización de este nuevo mecanismo ocurrió recién a partir del siglo siguiente (Boudriot 1992, citado en Rodríguez Mariscal 2010:179). Este dispositivo se empleó en piezas nuevas y en cañones con varios años de servicio; esto último está evidenciado por una de las bocas de fuego halladas en el *Bucentaure*, que fue

fabricada en 1780 (véase el anexo 9). En España, su uso también se hizo frecuente hacia la misma época. Inicialmente, las llaves se hacían firmes al cañón por medio de dos fajas de lona, y se colocaban a la izquierda del oído, para no alterar la posición de los sirvientes. En el Museo Naval de Madrid se exponen diferentes modelos de llaves de fuego, de chispa y de percusión. Estas últimas impactaban sobre el fulminante, colocado en el oído del cañón. Fueron empleadas en reemplazo de las primeras, durante el siglo XIX. Sobre este punto, basta decir que las implicaciones de este tipo de accesorios con respecto a la identificación temporal de los sitios arqueológicos resultan significativas.

Los conocimientos necesarios para operar un cañón podían ser incorporados durante la instrucción a bordo; por ello, las armadas no tuvieron mayores inconvenientes en reclutar personas ajenas al ámbito de la navegación en sus buques de guerra (Frykman 2009:74). No obstante, la maniobra de una pieza no era tarea sencilla. Requería de entrenamiento y organización, e insumía además un gran esfuerzo por parte de su dotación, más aún durante un enfrentamiento. “A ningún hombre de mar o tropa a bordo podrá dispensarse de que sepa ocupar un puesto de utilidad en el manejo del cañón, consecuente a lo cual, así los destinados para combate solamente a maniobra y fusilería deberán tener señalamiento en los trozos del manejo del cañón, o formarse en ranchos separados para su enseñanza en este punto”, se lee en una placa expuesta en el Museo Naval de San Fernando, Cádiz, que reproduce el artículo 12, tratado 5to., título VI de la Ordenanza de la Real Armada Naval de 1793, y que brega a continuación por mantener en la actualidad el mismo espíritu que en aquel entonces.

En situación de combate, las baterías se tornaban un entorno caótico. Frykman nos ofrece una vívida imagen de lo que sucedía bajo cubierta:

“Cuando las balas de cañón impactaban el casco de un barco, en el interior se desprendían astillas de madera del tamaño de los muslos de un hombre, que separaban brazos y piernas, aplastaban cráneos, y cortaban torsos al medio, a medida que acuchillaban y golpeaban violentamente en su camino a través de la cubierta abarrotada. Si la batalla se prolongaba durante varias horas, la batería tomaba el aspecto de un ‘matadero’: gran número de hombres muertos y moribundos, parvas de carne humana irreconocible, sangre fluyendo por los imbornales hacia el mar” (Frykman 2009:80; la traducción es personal).

En palabras de un coetáneo:

“Hay que imaginarse lo que debe ser la batería de un barco con 28, 30 y hasta 32 cañones de mayor calibre tirando al mismo tiempo desde los dos lados en un entrepuente estrecho y medio inundado, para comprender fácilmente cuáles deben ser la vigilancia, la agilidad, la sangre fría y la habilidad necesarias para evitar el desorden y la confusión en medio de esta multitud de hombres amontonados entre el humo, el ruido, los estragos del enemigo, los gritos y la agitación que todas estas cosas no pueden dejar de originar en el alma de los combatientes” (Salazar 1828, citado en Torrejón Chaves 1997:291).

Según el científico y marino español Cosme D. de Churruca (1761-1805), que encontró su muerte de forma heroica durante la Batalla de Trafalgar a bordo del navío *San Juan Nepomuceno*, cada tipo de munición (véase más abajo) lograba cierto alcance durante el disparo. Por ello es que, en cada caso, había estipuladas diferentes distancias para realizar el tiro de cañón. En su manual, titulado *Instrucción sobre punterías, para el uso de las baxeles del Rey*, Churruca ofreció una serie de indicaciones teóricas y prácticas acerca de los puntos de mira para cada distancia y munición, datos que presentó a la vez de forma tabulada, para beneficio de los artilleros (Churruca 1805). Las siguientes distancias de disparo, recomendadas para cada munición, son ilustrativas: balas rasas, a partir de los 600 metros; la metralla, a menos de 400 metros (a mayor distancia, las pequeñas balas se dispersaban más de lo deseable) y las cargas dobles (e.g. metralla y palanqueta), a tiro de mosquete (Rodríguez Mariscal 2010:188). Con relación a este manual, que pretendía resolver de un modo sistemático un problema que hasta entonces había estado librado a la práctica de cada artillero, Rodríguez González dijo:

“Tal vez, la principal insuficiencia de la ‘Instrucción’ fue que continuaba centrando el problema del tiro en el realizado a una distancia media, cuando las nuevas tácticas británicas implicaban el combate a muy corta distancia o incluso a bocajarro. Y a tales distancias, la cuestión de la precisión en el disparo pasaba a ser secundaria y tenía mucho mayor valor la rapidez en el tiro. Pero, indudablemente, apenas pudo hacerse uso de sus consejos, sugerencias y soluciones, porque faltó tiempo para asimilarla convenientemente” (Rodríguez González 2014:8).

Por aquel entonces, existía una profusa producción bibliográfica acerca del alcance de los cañones, asunto muy complicado, que al parecer no se ajustaba a un método fijo. La cuestión era fundamental, ya que de esta variable dependía el acertado y útil servicio de la artillería. En el siglo xv se llevaron a cabo las primeras experiencias a fin de determinar la proporción que guardaban el alcance y la elevación de las piezas, y alejarse de este modo de la mera casualidad y tanteo en los disparos. En esta misma época comenzaron a divulgarse en Europa las matemáticas, que tendrían serias implicaciones sobre diversas artes. En particular, su cultivo condujo a una creciente disponibilidad de herramientas teóricas, que ayudaron a la práctica de la artillería (e.g. se creó la escuadra o cuarto de círculo). En la primera mitad del siglo xvi, el matemático Nicolás Tartaglia propuso por primera vez la curva que describen los cuerpos proyectados, expuso sus propiedades y las aplicó al movimiento de las balas de cañón y mortero. En la obra *Nueva ciencia de la artillería*, escrita por Diego de Álaba y Viamont y publicada en 1590, este autor introduciría algunas correcciones al trabajo de Tartaglia, y presentaría las primeras tablas generales para conocer el alcance de los cañones y morteros, en función de la respectiva elevación en grados y minutos. Ambos, pese a que ignoraron la curva de proyección real, marcaron los inicios de una etapa de intensa discusión. Los cálculos desarrollados a lo largo del tiempo permitieron, luego de superar varias propuestas que incluyeron experimentación —entre estas, cabe mencionar la de Luis Collado, que en su *Práctica manual de Artillería* (1592) sostuvo que los alcances sobre el semirrecto eran menores que los equidistantes por debajo de este— e ideas no razonadas, acercarse con bastante precisión a una cuestión netamente práctica: el alcance de una pieza de artillería. Los estudios más adelantados de la primera mitad del siglo xviii se basaban en el sistema de Galileo, pero tenían en cuenta además la resistencia que ejercía el medio sobre el proyectil, de resultas que este seguía una trayectoria con la forma de una parábola deformada (consultar de los Ríos 1767, para mayor información sobre el devenir de las investigaciones hasta mediados de la década de 1760, con especial atención a los aportes españoles).

En la práctica, los artilleros utilizaban tablas que especificaban el alcance de los cañones según diferentes elevaciones (e.g. Robins [1742] 1805:314; Curruca 1805:

tabla 23).⁴³ La puntería podía ser por elevación o de punto en blanco, i.e. directa (Ciscar 1830:68). A modo ilustrativo, en la figura 8.17 presentamos un esquema que da cuenta de estas dos modalidades de disparo desde la cubierta principal de un navío.

Estas tablas tenían una larga historia, aunque sufrieron modificaciones conforme los cálculos se fueron ajustando cada vez más a la realidad. Por otro lado, como bien notó Rovira, la relación entre el diámetro del ánima y el de la bala con la que se disparaba influían tanto en la distancia como en la precisión del disparo. Si el diámetro de aquella fuese algo menor al que le correspondía a su título, en el mejor de los casos el alcance será mayor, y el tiro más certero (aunque esta ventaja no compensaba los serios inconvenientes que tal estrechamiento podía ocasionar). En cambio, un diámetro mayor de lo justo ocasionaba una pérdida en el efecto impulsor de la carga y que la bala no siguiera un movimiento rectilíneo a lo largo del eje del ánima, de resultas que la bala lograba menor alcance y precisión. Otro tanto ocurría cuando las piezas estaban menos reforzadas de lo debido, a causa del ladeo o inclinación del ánima; por un lado, estas debían cargarse con menor cantidad de pólvora que otra no defectuosa del mismo calibre, y por el otro, la dirección del disparo, estimada a partir de la mira (paralelar al eje del cañón), no coincidiría precisamente con la que le imprimiría a la bala el eje del ánima (Rovira 1773:164,165).

El conocimiento técnico acerca del comportamiento de estas piezas de artillería estuvo esencialmente basado en la experiencia del maestro artillero (*master gunner*), de su aprendizaje por simple prueba y error. Los estudios sistemáticos, de índole científica, sobre aquello que ocurría dentro del ánima (incluyendo la recámara), desde la ignición hasta que la bala dejaba el hueco, comenzaron en el siglo XIX. De este fenómeno se ha ocupado desde entonces la balística interior. La forma y las dimensiones que tenía aquel espacio eran fundamentales para la operatividad del cañón. De allí que, en aquel entonces, fuera habitual registrar

⁴³ Para calcular la distancia a la que se encontraba el enemigo, también había recursos de este tipo (véase Simmons 1812:46; para el caso de los navíos de 2do. y 3er rango).

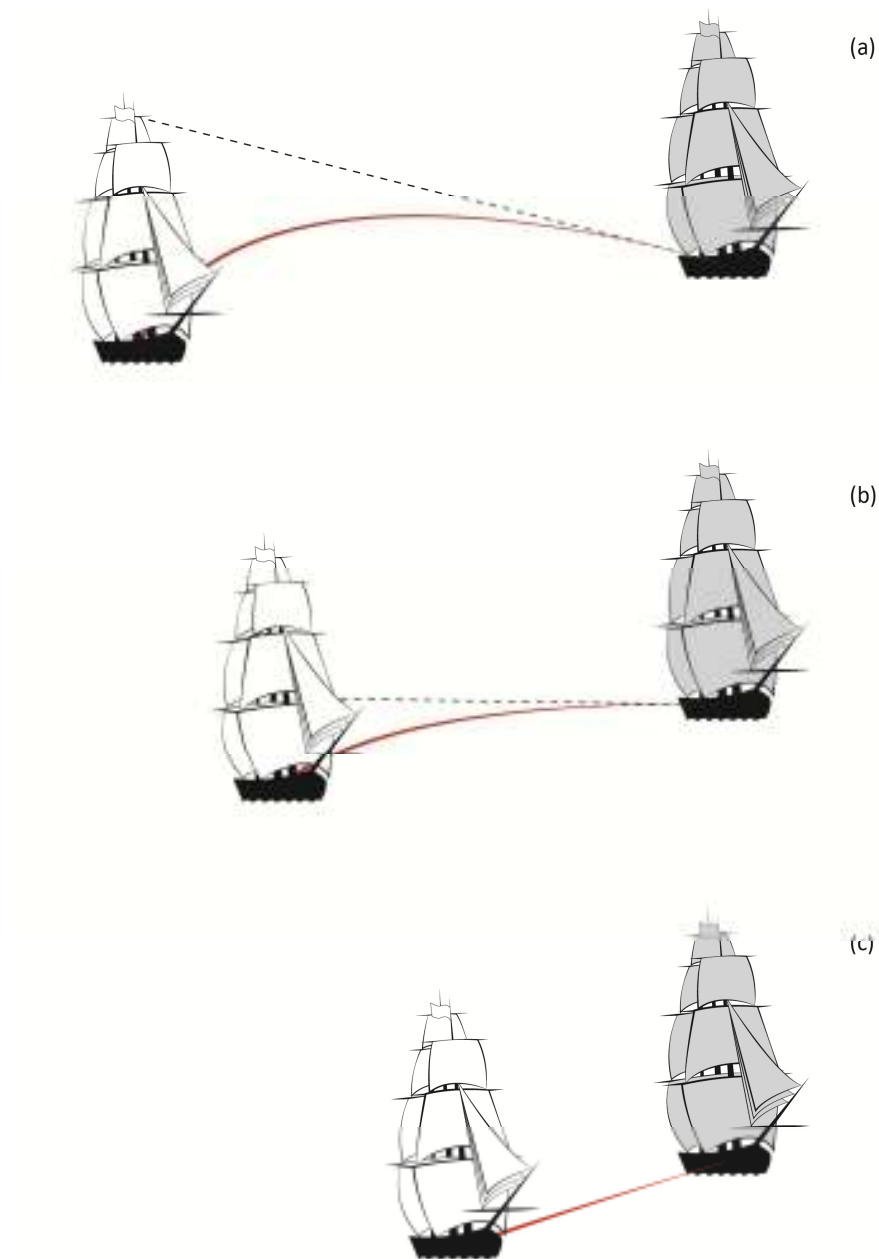


FIGURA 8.17 – PUNTERÍA Y DISPARO DE UN CAÑÓN, SEGÚN LA DISTANCIA.

Representación esquemática de puntería (línea discontinua) y trayectoria de la bala (línea continua) desde la batería principal, con el objetivo de alcanzar la línea de flotación de un navío de línea enemigo. Las diferentes trayectorias balísticas, casi parabólicas, dependían de la distancia a la que se encontraba el objetivo (los valores son orientativos): a) a 1.200 m de distancia, el artillero apuntaba a la veleta; b) a 800 m, a la cofa del palo mayor; y c) a 365 m o menos (era preferible lanzar las andanadas desde 275 m), se realizaba un disparo directo (Brownlee 2001:35).

Gráfico: N. Ciarlo 2015.

únicamente aquellas características que eran relevantes con relación a su funcionamiento, y por ello es que a la hora de estudiar una pieza debe prestársele atención a la correcta medición del largo (Roth 1995:120).

Notas sobre el peso de los cañones y del balerío

El control apropiado del peso y el espacio en un buque de guerra era una cuestión apremiante, que recibía mucha atención, dadas las serias implicancias que tenían estas variables con relación a la estructuración interna (e.g. distribución de los pertrechos y organización de la tripulación y guarnición) y capacidades marineras (e.g. velocidad y maniobrabilidad) de aquel. El peso de los cañones, por ejemplo, era un factor que condicionaba el diseño de las cubiertas sobre las que estos se ubicaban.⁴⁴ En batalla, el peso de un barco influía sobre sus capacidades marineras, puntualmente la velocidad que lograba alcanzar. Al respecto, recordemos además que los buques de línea no se destacaban por ser muy veloces. De allí que el peso de los cañones despertara el interés de los especialistas, que buscaron la forma de alivianar las piezas, por ejemplo reduciendo el grueso del metal a la altura del fogón (Rovira 1783:102).

Un breve ejemplo nos permitirá ilustrar la relevancia que tenía el peso de los barcos en circunstancias tales como una persecución. En el capítulo 2 hablamos sobre la estrategia de bloqueo de los principales puertos europeos que siguió el Almirantazgo británico durante la guerra contra Napoleón. Dentro de este contexto, a mediados de 1795 el almirante británico Cornwallis, con una pequeña parte de la Flota del Canal, se encontró en el Canal de la Mancha con una flota francesa de treinta barcos (trece de ellos buques de línea), a las órdenes del almirante Villaret-Joyeuse, que había partido de Brest con órdenes de escoltar a un convoy mercante que venía desde las Indias. Cornwallis, dada la inferioridad

⁴⁴ La necesidad de aumentar el poder de fuego de los barcos de guerra trajo aparejados cambios significativos en el diseño y la construcción naval durante época Moderna (en Occidente). Esta relación fue uno de los aspectos que influyeron fuertemente en el proceso de transición de los barcos construidos a tingladillo a aquellos con juntas a tope, ocurrida en el norte de Europa hacia la primera mitad del siglo xvi. Un estudio pormenorizado sobre este proceso de innovación tecnológica fue desarrollado por Adams (2003).

numérica de su escuadra, decidió dirigirse hacia el oeste, adonde se encontraba la flota principal, bajo el mando de Lord Bridport. Los franceses no dudaron en darle caza. Durante la persecución, dos barcos británicos de 74 cañones, el *Bellerophon* y el *Brunswick*, quedaron atrás del resto, por lo que debieron ser aligerados. Así fue que cayeron por la borda las anclas, los botes y el agua almacenada a bordo; aun así, los franceses continuaron acercándose. Hallándose a tiro de cañón, echaron al mar las provisiones, las velas, las vergas, y hasta los cañones y balas que sobran, aunque ello tampoco fue suficiente y finalmente el fuego enemigo alcanzó a los buques de Cornwallis (Brownlee 2001:41).

El peso de las municiones también era digno de consideración. Este último autor realizó una estimación del peso de las balas producto del disparo de una andanada, según la categoría a la que pertenecían los barcos. Hacia el 1800, la batería de un navío de línea de primer rango podía descargar una lluvia de balas que representaba, en suma, 2.500 lb (1.134 kg) de hierro; un navío de tercer orden, 1.764 lb (800 kg); y una fragata de sexto orden, que podía llevar 20, 24 o 28 piezas, entre 180 y 250 lb (82 a 113 kg) (Brownlee 2001:15). En la práctica, es probable que las cifras anteriores no fueran tan precisas. No obstante, estos datos nos brindan una idea aproximada del volumen de hierro (en balerío) que debían transportar los barcos capacitados para entrar en combate, en especial en el caso de los de mayor porte. Por tanto, cualquier mejora en torno al peso de las municiones también habría significado una ventaja importante. Más adelante veremos que la calidad del material empleado para su manufactura (fundición blanca o gris) habría tenido cierta importancia al respecto, así como con relación a otros aspectos (e.g. la fragilidad) que hacían a la efectividad de los proyectiles.

MUNICIONES

Características generales

Antes vimos cómo se disparaban los cañones y qué instrumentos se empleaban para su manejo, así que ahora nos concentraremos en las municiones que expelían

de sus bocas. En la época que nos ocupa, existía una amplia variedad de municiones que era llevada a bordo de los buques de guerra para la artillería de avancarga (véase Maritz 1758; Blackmore 1976; Calvo 2014b; que describen y/o ilustran muy bien esta diversidad). Si bien es cierto que en la práctica un sinnúmero de objetos podía ser utilizado con el propósito de abatir al contrincante o destruir diferentes partes estructurales de los buques enemigos, aquí nos ocuparemos con preferencia de los medios convencionales (i.e. balas, metralla y bombas).

Los diferentes tipos de municiones disponibles eran en su mayoría de hierro (sólidas o huecas, según el caso).⁴⁵ Los establecimientos dedicados a la fundición de cañones solían proporcionar esta clase de artículos, aunque también había talleres de forja más pequeños que los producían.

A bordo de los barcos, el grueso de la balería se almacenaba en el depósito de municiones o poza de balas, en la bodega (Steel 1805:131).⁴⁶ Una parte, además, estaba disponible en las baterías. Estaba estipulado que cada nave llevara un cierto número de balas (de cada tipo y calibre) por cañón. Durante la batalla, la elección de un tipo particular de munición dependía básicamente del objetivo perseguido, que estaba estrechamente vinculado con la táctica de combate, y de las condiciones particulares de cada situación. A la hora de batirse con el enemigo e intentar derrotarlo, podían emplearse diferentes recursos, aunque cada armada adhería con preferencia a una modalidad de combate particular. Era *vox populi* que los navíos británicos buscaban hundir las naves enemigas, por ello concentraban el fuego sobre el casco de los barcos. Los franceses, en cambio, eran conocidos por hacer fuego sobre la arboladura, jarcia y velamen de los barcos contrarios, a fin de inutilizarlos y evitar así ser perseguidos. A continuación veremos con mayor detalle las características de los principales tipos de munición utilizados según la ocasión.

Los naufragios, como ya veremos, constituyen una fuente de evidencia importante para el estudio de este tipo de piezas (e.g. Bingeman 1985; Sullivan 1986; Canadian Parks Service 1992; Stanbury 1994; von Arnim 1998; Elkin et al.

⁴⁵ A lo largo de la historia se emplearon balas de diferentes materiales. En algunos escritos militares del siglo XVIII que versan sobre artillería podemos encontrar referencias al uso de balas de piedra, plomo y bronce, además de las de hierro (e.g. Cassani 1705:210). En los tiempos que nos ocupan, las balas que disparaban los cañones de los barcos eran únicamente de hierro (Rovira 1773:29).

⁴⁶ En los barcos franceses, la poza de balas se ubicaba a proa del palo mayor. Allí, las balas estaban agrupadas según el calibre, y repartidas en diferentes compartimentos (Rodríguez Mariscal 2010:181).

2011; AA.VV. 2015; entre otros sitios que cuentan con munición de diversas formas y tamaños).

Balas, metralla y bombas

En su *Cartilla de Artillería de Marina*, Ciscar plantó los siguientes puntos de un barco adonde convenía asestar los tiros:

“La idea de desarbolar á un buque es acaso la principal que debe tenerse en un combate; asi la dirección al pie de las arraigadas será una de las mas convenientes para el efecto (...) Otra esencial puntería será á la lumbre del agua ó línea en que baña el agua al costado del enemigo, con el fin de echarle á pique; pero con la advertencia de que siendo inútiles las balas que dieran en el agua, vale mas que den sobre dicha línea que debajo de ella. Es también tiro de grande importancia, aunque muy difícil, sobre las portas de los guarda-timones, con el fin de romper la cabeza del timon y dejar al enemigo sin gobierno. Cuando se pretende desguazar el casco y rendir la tripulacion, se dirigirán las punterías á las baterías correspondientes del enemigo, batayolas y coronamientos de popa y proa” (Ciscar 1830:76,77).

Cada uno de estos disparos, que dependía de la táctica seguida en cada combate y de la modalidad usual de cada armada, requería de un tipo de munición en particular.

Para producir rumbos en la estructura de los barcos se utilizaba una munición esférica de hierro macizo, denominada bala rasa (*round shot; boulet*). En las baterías, las balas rasas que debían tenerse a mano para la carga durante el combate se colocaban en las chilleras o baleros, i.e. tabloncillos de madera con una serie de concavidades semiesféricas que se ubicaban entre las portas de los cañones, en la parte interior de los costados del barco (Moore 1801: GARLAND; Steel

1805:131; O'Scanlan 1831:203).⁴⁷ La bala rasa que se calentaba en un hornillo, con la intención de provocar incendios en las cubiertas o explotar los depósitos de municiones, se denominaba bala roja (O'Scanlan 1831:73).⁴⁸

Además de la bala rasa, existían otros tipos de municiones de uso en el servicio naval, entre los que se pueden destacar las balas enramadas o palanquetas (*double headed* o *bar shot*), encadenadas (*chain shot*) y estrelladas (*star shot*). Estas municiones exhibían variaciones morfológicas, que en parte respondían a las diferentes modalidades que se empleaban en uno y otro lugar.⁴⁹ Asimismo, en ocasiones había ligeras discrepancias con respecto a la terminología empleada. En cuanto a la utilidad de estos proyectiles, siguiendo a Moore (1801), las palanquetas estaban diseñadas esencialmente para echar por tierra los mástiles, mientras que las balas encadenadas (al igual que las estrelladas) se disparaban con el objeto de destruir la jarcia y las velas. Este tipo de proyectiles tenía un alcance menor que el de las balas rasas; por esta razón debían usarse a una distancia más cercana, preferiblemente por debajo de los 400 metros. Además, a diferencia de las otras municiones, el calibre de las palanquetas solía ser ligeramente menor al de los cañones en que se empleaban (Rodríguez Mariscal 2010:184).

Los manuales británicos indican que las palanquetas estaban formadas por una barra con dos cabezas semiesféricas, mientras que las encadenadas son descritas como dos balas rasas unidas mediante una cadena (Falconer 1780: SHOT). Las primeras también podían estar formadas por dos balas rasas unidas por una barra (Moore 1801: SHOT).

En España, las palanquetas fueron conocidas, según su morfología, como *a la española*, *a la francesa* y *a la inglesa*. Rovira precisó que las primeras estaban formadas por dos balas unidas entre sí por una barra de hierro forjado; las segundas, por dos medias balas, unidas de forma semejante; mientras que las otras

⁴⁷ También se llamaba *chillera* a un pequeño cerco cuadrado o triangular formado con listones, que se ubicaba en la cubierta, entre los cañones, para colocar algunas balas y metralla (O'Scanlan 1831:203; véase también 'chillerón').

⁴⁸ Este tipo de bala, en muchas ocasiones, probó ser menos perjudicial para el enemigo que para el atacante. Además, su preparación insumía un tiempo considerable. Por tales motivos, su empleo se restringió sobre todo a las baterías de tierra y los barcos fondeados (Fernández Duro [1895] 1972-1973: tomo 8, 420).

⁴⁹ Los franceses preferían el uso de este tipo de munición antes que la bala rasa, pese a que tenía un menor alcance y precisión que esta última (Bryce 1984:58).

consistían en una pieza de hierro forjado o colado cuyos extremos eran dos pirámides exagonales truncadas de base circular (Rovira 1773:28). O'Scanlan llamó balas de cadena o encadenadas a aquellas compuestas por dos balas (rasas) unidas por medio de una cadena o barra (palanquetas *a la española*), y enramadas a las que constan de dos medias balas (semiesferas) unidas de la misma forma que las anteriores (palanquetas *a la francesa*). Este autor notó que Terreros designó a estas últimas como balas de dos cabezas, mientras que nombró enramadas a las encadenadas (O'Scanlan 1831:73).

Las palanquetas a las que los autores españoles refirieron como *a la francesa* y *a la inglesa* presentaban una notable diversidad de formas. La descripción disponible en las fuentes antes citadas adolece de una simplicidad que no puede ser considerada más que como referencia general. En el trabajo Blackmore (1976:191) podemos apreciar varios ejemplares de palanquetas que ilustran la complejidad del caso. La variabilidad que muestran estos objetos está en parte relacionada con la procedencia. Pese a que existen algunas pautas, resultaría difícil establecer —e incluso riesgoso guiarse por— una clasificación basada en este criterio. Por otro lado, la amplia diversidad de balas de este tipo puede llevarnos a pensar que su morfología era caprichosa. Sin embargo, la forma, el tamaño y las proporciones de las piezas fueron objeto de estudio y estuvieron sujetos a cambios, en pos de mejorar su eficacia.

A principios de la década de 1770, el Comisario General de la Artillería de la Real Armada española, Joseph Blanco Tizón, luego de estudiar varias palanquetas de procedencia inglesa y francesa, presentó una versión que consideró superior a las utilizadas por aquel entonces. En la figura 8.18 reproducimos los diferentes modelos de palanquetas que dibujó Tizón a partir de varios ejemplares procedentes de barcos ingleses y franceses (respetamos la escala original, en pulgadas de Castilla). El documento de referencia (AGS, signatura: MPD, 26, 91; ubicación anterior: Secretaría de Marina, 00667) está formado por dos láminas, que se encuentran actualmente en el AGS, en una carpeta que lleva el título: De 23 de diz[iembr]e de 72 a 16 de jun[i]o de 1774. Exped[ien]te s[ob]re Palanq[ue]tas de fierro batido [forjado] en lugar de fierro colado. Con carta de José Blanco Tizón a don Andrés Reggio, Isla de León, 15 de febrero de 1775. En la lámina adonde Tizón

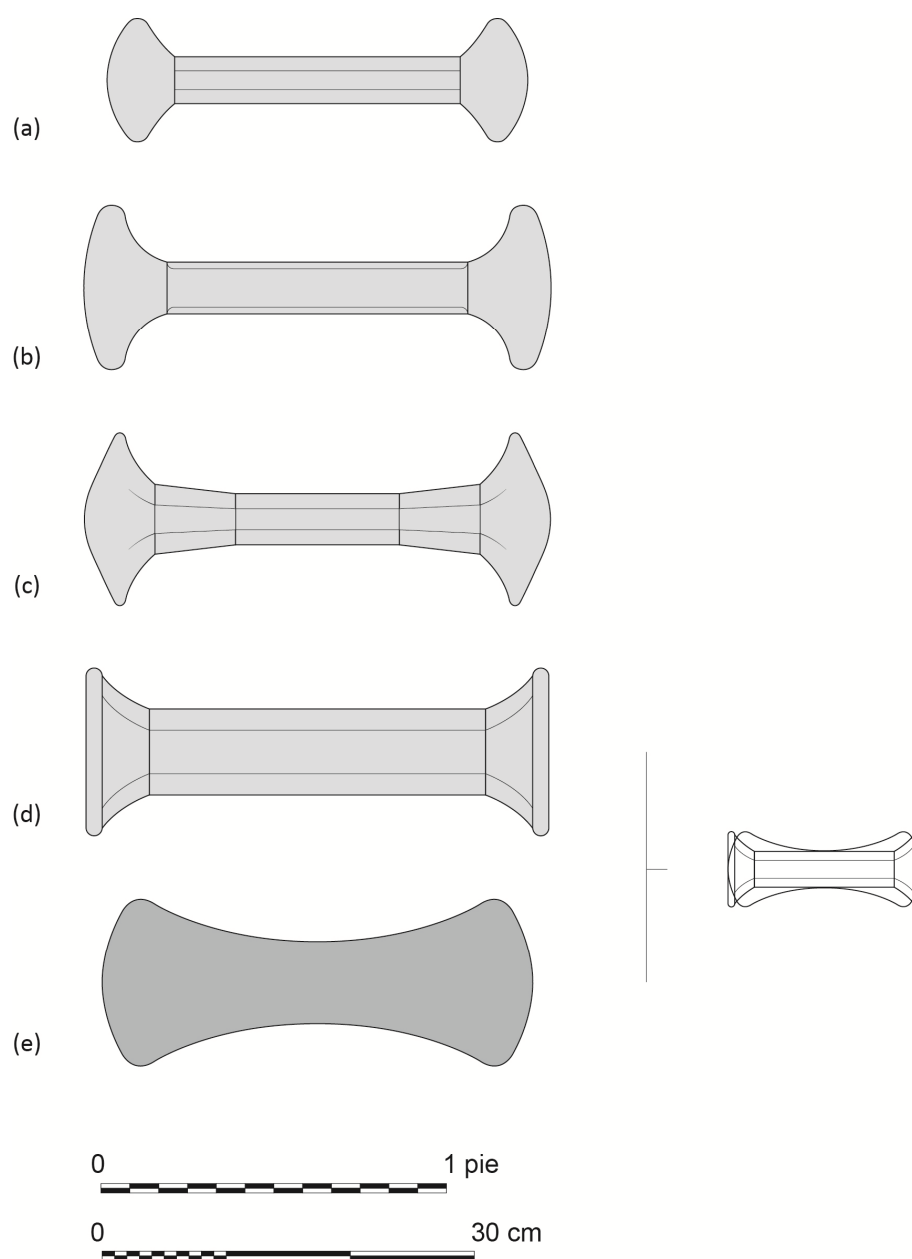


FIGURA 8.18 – MODELOS DE PALANQUETAS.

Reproducción de los dibujos de Tizón que se encuentran en el AGS (la cursiva es nuestra): a) palanqueta de la Fragata de Guerra Ynglesa el *Gibraltar*, que se halla en Cadiz, en 13 de Dizi[embr]e de 1766, de 22 cañones del calibre de a 9, que es de a 8 Español, su Capitan Ricardo Brashzvaite; b) palanqueta del Calibre de a 18 del uso de Yngleses y Franceses, diferenciandose muy poco entre ellos, y con las que tenemos en este Arzenal de los Navios de Guerra de Francia el *Oriflame*, y el *Florisent*; c) palanqueta de a 24 del Navio Yngles de Guerra el *Ferzey*, de 60 Cañones que se halla en Cadiz, Su Capitan William Dickson; d) palanqueta del uso actual de las Armadas de S[u] M[ajestad], llamada a la Ynglesa; y e) Palanq[ue]ta española, ideada por D[o]n J[ose]ph Blanco Tizon, Comisario Gen[era]l d[e] la Artilleria d[e] la Armada, y demostracion d[e] sus ventajas sobre las Ynglesas.

Gráfico: N. Ciarlo 2014.

presentó su invención, está hecha la comparativa entre una típica palanqueta inglesa y la nueva palanqueta española, que aquí reproducimos en miniatura. Debemos notar que las siluetas de las dos palanquetas, si nos guiamos por el dibujo a escala realizado por Tizón, no coinciden exactamente (a similar diámetro, la palanqueta española es ligeramente más corta que la inglesa).

Con respecto a lo anterior, cabe destacar que la Real Armada Española adoptó las palanquetas a la inglesa hacia finales del siglo XVIII, por considerarlas más efectivas que las de uso corriente. En el sitio *Fougueux*, además de las palanquetas del tipo francés y español, también se hallaron piezas que responden a la morfología inglesa (véase Rodríguez Mariscal 2010:184-186). Es posible que estas últimas fueran o bien palanquetas españolas del tipo inglés, cargadas en Cádiz previamente a la batalla de Trafalgar, o bien inglesas, producto del ataque al que estuvo sometido el navío (Rodríguez Mariscal et al. 2010:102). No obstante, también debe tenerse en cuenta como posibilidad que los franceses utilizaran palanquetas con una forma similar a la de las piezas inglesas (véase la referencia contemporánea citada en el punto (b) del epígrafe de la Fig. 8.18). En algunos sitios de nacionalidad francesa se extrajeron palanquetas formadas por una barra central y dos extremos de forma cilíndrica (e.g. Bryce 1984:55; Sullivan 1986:38; véase también el anexo 9).

Por otro lado, las balas estrelladas estaban compuestas de cuatro extremidades con remate en forma de casco, que al unirse formaban un cilindro del mismo diámetro que la bala rasa (O'Scanlan 1831:73). Un proyectil similar a este fue ilustrado por Maritz, 1758 (Fig. 8.19).

Otro tipo de munición muy empleada fue la metralla. Esta solía utilizarse a corta distancia, y el objeto principal era producir bajas en la tripulación enemiga. Dentro de esta categoría se encontraban los tarros de metralla (*case shot* o *canister shot*) y los saquillos o saquetes de metralla (*grape shot*). Los primeros eran tarros de hojalata cilíndricos, con un diámetro similar al de la bala del calibre correspondiente, que estaban rellenos regularmente de pequeños proyectiles redondos de hierro. Algunos mencionan el empleo de balas de mosquete (e.g. Falconer 1780: SHOT; Moore 1801: SHOT). Rovira describió a los segundos como un conjunto de balas pequeñas arregladas unas sobre otras sobre un zoquete o plato

de madera o metal, alrededor de un núcleo o palo (arbolete) del mismo material, y envueltas en un saquillo de lona (Rovira 1773:28).

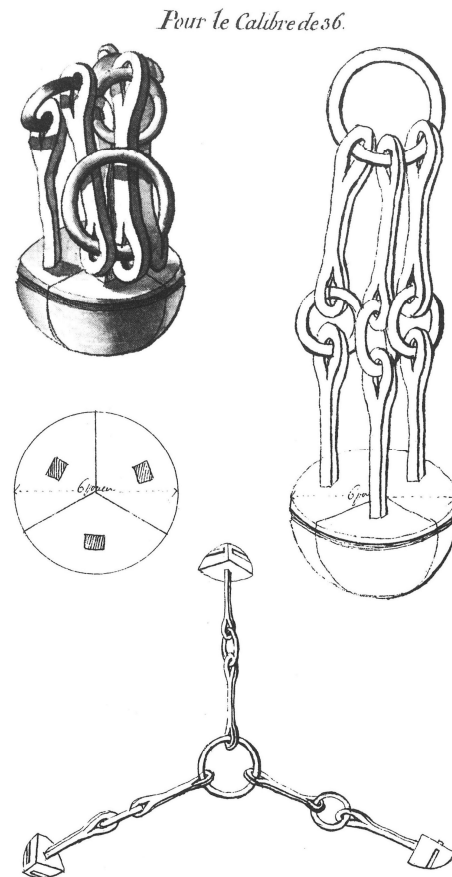


FIGURA 8.19 – BALA TIPO ESTRELLA.

Imagen de una bala del tipo estrella, en estado de carga y expandida.

Fuente: Maritz (1758).

En el sitio Deltebre I (1813) se hallaron numerosos tarros de metralla de diferentes calibres. Entre estos, al menos dos poseen un contenido formado por balas de hierro y otros objetos (véase el anexo 10). Estos tarros llaman la atención, ya que dentro de la Real Armada británica no era considerado honorable el uso de munición diferente a la regular (i.e. balas esféricas). Por su contenido, se asemejan a los proyectiles conocidos en Inglaterra como *langrage shot* (*mitrailles*, en

francés), que estaban formados por un cúmulo de pernos, clavos y chatarra diversa de hierro. En palabras de Falconer, este tipo de munición “nunca se utiliza en los barcos Reales [de la Armada], pero sí a menudo por parte de mercantes y corsarios (Falconer 1780: LANGREL, LANGRAGE).⁵⁰ Es probable que en la práctica, y sobre todo en circunstancias apremiantes, además de los recursos regulares se emplearan otros por fuera de lo estipulado.

Las balas de los saquetes utilizados en piezas de artillería de menudo calibre también podían ser de plomo. Este tipo de munición fue hallada en varios sitios arqueológicos (e.g. Bryce 1984:52,54; Canadian Parks Service 1992:64).

Las granadas de mano, a diferencia de la munición descrita hasta ahora, tenían una cavidad interior que se llenaba con una carga de pólvora y era accionada por medio de un fusible de madera. Esta munición era arrojada manualmente desde las cubiertas o, a mayor altura, desde la jarcia. También podían dispararse formando una pollada. Este tipo de metralla consistía en un conjunto de platillos circulares unidos por medio de un astil, sobre los que se colocaban las granadas, que a su vez estaban comunicadas entre sí por medio de un estopín largo (el conjunto estaba recubierto con una loneta). Algunos ejemplares de esta munición fueron localizados en el sitio *Fougueux* (1805) (Rodríguez Mariscal 2010:187,188). Al igual que en el caso de las balas rasas y palanquetas, en las baterías por lo general se colocaban varias unidades junto a cada pieza de artillería.

Las bombas, que seguían el mismo principio que las granadas, eran expulsadas a mayor distancia por intermedio de morteros. Esta munición solía tener dos anillas cerca del fusible, para facilitar su manipulación (traslado y carga). Varios ejemplares de esta munición explosiva fueron recuperados de diferentes sitios de la época. Las bombas halladas en algunos naufragios eran parte de la carga, i.e. no estaban destinadas a las baterías del barco (e.g. Bryce 1984:53-55; Sullivan 1986:37,39; véase también el anexo 10).

Veamos ahora cómo se fabricaban las municiones de la artillería.

⁵⁰ Switzer reportó el hallazgo de este tipo de metralla en el corsario norteamericano *Defense* (1779). En la zona de popa, cerca del depósito de municiones, localizó una concreción de hierro que contenía un conjunto de clavos, fragmentos de pernos y trozos de fundición de hierro (Switzer 1998:191).

Manufactura

Munición de fierro colado

Una manera de obtener las balas y otras piezas de fundición era mediante colada en molde, directamente al pie del horno de reducción (alto horno). Esta metodología también se empleó en hornos de segunda fusión (de reverbero), de modestas dimensiones, aptos para confeccionar piezas de menor tamaño que los cañones (Tylecote 1976:121). Por lo general, para la fabricación de municiones se aprovechó la platina, i.e. hierro de escasa calidad obtenido durante las primeras coladas de los altos hornos (Alcalá-Zamora 1999:78). Por este motivo, es probable que la calidad de las balas haya sido marcadamente heterogénea, al menos en comparación con la de los cañones.

El vaciado de las balas se realizaba regularmente en moldes de arena o, como alternativa, en coquillas o moldes de conchas (*shell; coquille*) de hierro. El proceso con estos últimos era más expedito, aunque las balas que se obtenían con los moldes de arena eran más pulidas y regulares (véase Le Secq de Crepy 1848:34-36; para una descripción del proceso). Bonaparte también hizo mención del uso de coquillas de hierro (Bonaparte 1836:438). En la lámina 20 de la sección *Fonderie des Canons* de la *Enciclopedia* de Diderot y d'Alembert (1767) se muestran algunas coquillas para la fundición de balas correspondientes a cinco calibres diferentes, según las ordenanzas de 1732. Cada una de las dos mitades de estos moldes poseía, en negativo, una semiesfera y media sección del conducto de colada. Por intermedio de un soporte especial, se podían agrupar varias coquillas de similar tamaño y realizar una colada simultánea (Fig. 8.20).

A partir del análisis macroscópico y microscópico de un conjunto de balas rasas y de metralla de diferentes naufragios, pudimos determinar varias cuestiones de interés sobre el proceso de manufactura y la calidad del hierro empleado. El examen metalográfico indicó que las balas en cuestión se hicieron por medio de fundición y colada. Para la fabricación de las balas rasas y algunas de las de metralla (las de mayor diámetro) se emplearon moldes individuales. En cambio, algunas pocas piezas presentan evidencia macroscópica del uso de moldes multicavidad, i.e. moldes con varios orificios conectados entre sí en diferentes configuraciones.

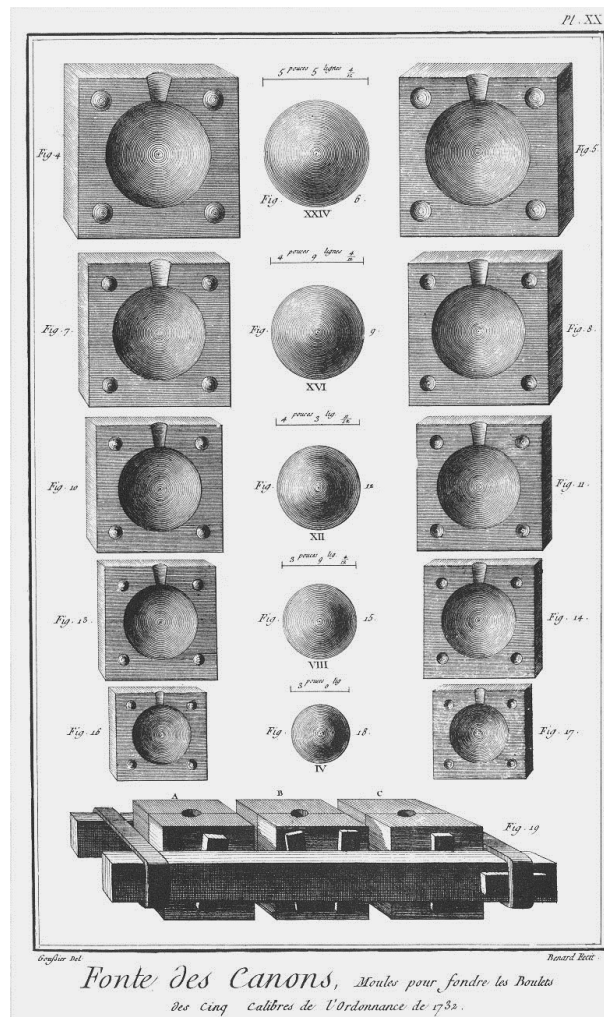


FIGURA 8.20 – BALAS RASAS DE 24 LIBRAS.

Moldes bipartitos para la fabricación de balas rasas de diferentes calibres. En la imagen inferior pueden apreciarse el armazón y los moldes cerrados, con el canal de colada a la vista.

Fuente: Diderot y d'Alembert (1767), *Arts Mécaniques, Fonderie des Canons*, lámina 20.

Las características microestructurales permitieron reconocer tres tipos de fundición: blanca, gris y atruchada. La variabilidad registrada en cuanto a las características microestructurales no parece estar relacionada con los diferentes tipos de munición (i.e. balas rasas, de saquete y tarro de metralla). Por caso, la bala rasa y de metralla de la *HMS Swift* (1770) son de fundición blanca. Esto último

también pudo apreciarse claramente en el caso del sitio Deltebre I (1813), adonde balas de similar diámetro muestran microestructuras diferentes. En las balas de fundición blanca y gris de este sitio también se detectaron partículas de sulfuros y compuestos de titanio. En las balas de los otros sitios la evidencia al respecto es escasa. El contenido de fósforo de las municiones, en función de la presencia de esteadita presente en las piezas de fundición blanca y gris, es notable. Al respecto, los contenidos elevados de este elemento (y de azufre) eran típicos de los minerales de hierro británicos. Como vimos en el capítulo anterior, ambos constituyeron un serio problema para la producción de ciertas piezas de hierro forjado, e.g. las anclas. En el caso de las fundiciones, en cambio, no representaron semejantes inconvenientes. De hecho, el contenido de fósforo habría mejorado la colabilidad del material durante la manufactura de las balas.

Con relación a las temperaturas de colado y velocidad de enfriamiento, debemos notar que las muestras de fundición blanca exhiben porosidad y rechupes. Por otro lado, varias municiones de fundición gris presentan microrrechupes en variada cantidad. Las balas de saquete de metralla del *Bucentaure* (1805) y las balas rasas del Deltebre I (1813) tienen una compleja microestructura, caracterizada por un núcleo de fundición gris y una delgada banda perimetral de fundición blanca, con una zona intermedia de fundición atruchada. Esta distribución indica que la superficie de estas piezas experimentó un enfriamiento relativamente rápido.⁵¹ El uso de un molde de hierro (coquilla) puede dar cuenta de este resultado.

Si tenemos en consideración el grado de porosidad de las balas de metralla estudiadas, así como otras imperfecciones apreciables a simple vista (e.g. restos del canal de colada), podemos suponer que el control de la calidad de este tipo de piezas no era riguroso. Lo anterior, que puede ser considerado como corolario de la producción en masa de este tipo de objetos, no habría tenido consecuencias negativas con relación a su efectividad. Las balas rasas, en cambio, exhiben mayor cuidado en cuanto a su manufactura. Ello es consistente con las desventajas

⁵¹ El tipo de fundición depende de una relación entre la composición del material y la velocidad de enfriamiento. Un hierro con alto contenido de carbono y ciertos tenores de silicio y manganeso es susceptible de resultar, según la velocidad de enfriamiento, en una fundición gris o blanca. En este sentido, mientras que la primera está favorecida por disminuciones paulatinas de la temperatura, la segunda está asociada a enfriamientos rápidos.

aparejadas a ciertos defectos superficiales (e.g. daño del ánima de los cañones) e internos (e.g. menor precisión en la dirección de vuelo). La cuestión de los errores de trayectoria debido a la porosidad de las balas fue evaluada por Williams y Johnson, quienes además hicieron hincapié en las dificultades que enfrentaban los fundidores de la época para controlar las variables involucradas en el proceso de fundición y colada (Williams y Johnson 2000).

Como anticipamos, la relación peso-diámetro de las balas empleadas por cada armada presentaba algunas discrepancias, que en parte respondían a las características del material empleado. El peso específico del hierro con el que estaban fabricadas las balas en cada región presentaba ligeras diferencias, según se desprende de la información consignada en las fuentes documentales de la época (véase el anexo 5). El tipo de fundición debió influir en esto último. Al respecto, la fundición blanca tiene un peso específico de $7,7 \text{ g/cm}^3$, mientras que el de la gris se encuentra en un rango entre $6,95$ y $7,35 \text{ g/cm}^3$, dependiendo del contenido de grafito (a mayor contenido, menos peso). En otras palabras, un metro cúbico de fundición gris pesa entre 350 y 750 kg menos que el mismo volumen de fundición blanca. Teniendo en consideración la ingente cantidad de municiones llevadas a bordo de un barco de guerra (en especial los navíos), las implicaciones de esta variación de peso debieron ser relevantes en aquel tiempo, y es probable que los productores hayan estado al corriente de ello.

Por otro lado, cabe mencionar que las balas rasas llevaban marcas identificativas de fábrica. Al respecto, el sitio *Machault* (1761) es ilustrativo. Allí se recuperaron más de 500 balas rasas; entre estas, 27 de 9 libras y 94 de 4 libras estaban marcadas con la flor de lis (al igual que dos de los cañones localizados en este sitio). Por otro lado, dos ejemplares lucen la flecha del Almirantazgo, lo que sugiere que se trata de balas de origen británico (un total de 15 probablemente sean de esta procedencia, al igual que dos palanquetas) que pudieron haber impactado en el casco del barco antes de su hundimiento (Bryce 1984:42,47,51-54,58; Sullivan 1986:37).

Munición de fierro batido

A diferencia de las balas rasas y de metralla, las balas enramadas solían estar forjadas (fierro batido, según la denominación de la época). Las piezas procedentes de naufragios, como sucede en el caso de las anclas, suelen presentar indicios superficiales (a nivel macroscópico) que dan cuenta de ello (véase el anexo 9). No obstante, tanto las esferas o semiesferas, en las balas encadenadas, como los cilindros en las balas enramadas, solían ser de fundición. La cadena, en un caso, y la barra, en el otro, se soldaba por medio de forja (véase Bryce 1984:55-58; para el caso de los diferentes ejemplares halladas en el *Machault*, 1760).

Tablas

TABLA 8.1 – COMPARATIVA ENTRE CAÑONES DE BRONCE Y DE HIERRO.

Largo y peso de un conjunto de cañones navales ingleses de bronce y de hierro, según las cifras que figuran en el tratado de Muller (1768:54,56).

Cañón	Calibre	Largo			Peso	
		Pies	Pulgadas	Quintales	Arrobas	Libras
<i>Bronce</i>						
	48	8	6	53	0	14
	42	8	4	46	2	0
	36	7	10	40	0	0
	32	7	6	35	1	17
	24	7	0	26	2	7
	18	6	4	20	0	0
<i>Hierro (old)</i>						
	42	10	0	55	1	12
	32	9	6	53	3	23
	24	9	0	48	0	0
	18	9	0	41	1	8
<i>Hierro (new)</i>						
	48	8	6	60	0	0
	42	8	4	52	2	0
	32	7	6	40	0	0
	24	7	0	30	0	0
	18	6	4	22	2	0

TABLA 8.2 – CAÑONES DE LOS BARCOS DE GUERRA ESPAÑOLES DE LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XVIII.

Barcos (No. de cañones)	Cañones (No. y libras)				
	1a. batería (andana baja)	2a. batería	3a. batería	Alcázar	Castillo
<i>Ordenanzas vigentes en 1754 (Díaz Infante 1762:34,35)</i>					
100	30 de 36	32 de 24	28 de 12	8 de 6	2 de 8
72	30 de 36	32 de 24	$\frac{3}{4}$	8 de 8	2 de 8
68	28 de 36 c. (24 l.)	30 de 18	$\frac{3}{4}$	8 de 8	2 de 8
62	26 de 24	28 de 18 c. (12 l.)	$\frac{3}{4}$	8 de 6	2 de 8
58	24 de 24 c. (18 l.)	26 de 22	$\frac{3}{4}$	8 de 6	2 de 8
52	24 de 18	24 de 12	$\frac{3}{4}$	8 de 6	$\frac{3}{4}$
44	22 de 18 c. (12 l.)	22 de 8	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$
30	24 de 12	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	6 de 6	$\frac{3}{4}$
24	$\frac{3}{4}$	24 de 8	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$
22	$\frac{3}{4}$	22 de 8	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$
<i>Real Reglamento del 31 de diciembre de 1776, según Ordenanza del 31 de julio de 1765 (Rovira 1773:94,95)</i>					
100	de 36	de 24	de 12	de 6	de 8 l.
80	de 36	de 24	$\frac{3}{4}$	de 8	de 8 l.
70	de 36	de 18	$\frac{3}{4}$	de 8	de 8 l.
60	de 24	de 12 c. (8 l.)	$\frac{3}{4}$	de 6	de 8 l.
50	de 18	de 12	$\frac{3}{4}$	de 6	de 6 l.
40	de 18	de 8	$\frac{3}{4}$	de 6	de 6 l.
30	de 12	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	de 4 l.
20	de 8	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$

Notas:

Salvo aclaración, los cañones mencionados son cortos. Utilizamos la notación l. y c. en aquellos casos en que podían emplearse cañones largos o cortos, respectivamente, según la disponibilidad de estos últimos. Faltan en la lista los pedreros, que llevaban los navíos en sus lanchas y cofas (y los barcos menores en sus costados). Los valores corresponden a la artillería que debían llevar en tiempos de guerra. En tiempos de paz, se utilizaba el calibre de 24 en la primera batería de los buques de 70 cañones o más.



TERCERA SECCIÓN

INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES

Capítulo 9

ESTUDIO COMPARADO de la TECNOLOGÍA NAVAL

Este capítulo comprende la síntesis de los principales resultados obtenidos, que serán discutidos en función de la problemática central del trabajo: las innovaciones tecnológicas en el ámbito naval durante los comienzos de la industrialización en Europa occidental. Está dividido en tres secciones.

En la primera parte, expondremos una reflexión general en torno a los aportes de las investigaciones interdisciplinarias. Nos interesa retomar la relevancia de los estudios arqueométricos por cuanto estos brindan una particular decodificación de las evidencias materiales, en nuestro caso de metal. Asimismo, pondremos énfasis en la complementariedad de diversas vías de indagación, de cara al interés por alcanzar una imagen más acabada sobre los asuntos analizados.

En la segunda parte, buscaremos integrar los datos obtenidos del análisis de los naufragios —que a lo largo del texto, con fines expositivos, fueron detallados de modo individual— siguiendo una perspectiva arqueo-histórica a nivel regional. Esta consideración conjunta de los sitios, junto con las demás fuentes de información utilizadas en esta investigación, ponen de relieve el potencial inherente de una interpretación basada en la articulación de la información alcanzada. Así,

analizaremos en clave comparativa la tecnología de los barcos de bandera británica, francesa y española, con hincapié en las innovaciones que sufrieron los objetos de metal vinculados con sus capacidades operativas y de combate.

En la tercera sección, realizaremos una evaluación de la dinámica del cambio a lo largo del tiempo, en particular con respecto a los aspectos tecnológicos ya señalados. Partiendo de la consideración de la tecnología naval como un sistema complejo, delinearemos algunos de los principales factores a tener en cuenta y el tejido de relaciones que mantienen entre sí. Puntualmente, nos enfocaremos en el rol de los conflictos (existentes o previstos), las artes mecánicas y las ciencias, con respecto a las invenciones técnicas que fueron aplicadas dentro del ámbito naval moderno.

Como cierre expondremos los interrogantes que fueron respondidos parcialmente o que se suscitaron como consecuencia de la labor conducida en esta investigación, esperando que puedan ser abordados y profundizados para acrecentar el conocimiento sobre la base de nuevas evidencias y de la integración de diferentes medios y perspectivas de análisis.

LOS CAMBIOS INVISIBLES: UNA MIRADA DESDE LA ARQUEOMETRÍA

El análisis interdisciplinario

El potencial heurístico de los estudios interdisciplinarios, en particular de aquellos que implican un diálogo fluido al interior de las ciencias sociales y entre los especialistas de estas y quienes provienen de otros campos del conocimiento (e.g. Ingeniería, Física, Química, etc.) en la actualidad es innegable. La arqueometría, como vimos, se constituyó sobre semejantes bases. La aproximación que asumimos a lo largo de esta investigación abreva en ella. Pese a las numerosas ventajas que supone esta perspectiva, aún cohabita con posturas que se remontan a la fuerte demarcación y aislamiento que sufrió la ciencia en su interior durante el

siglo XIX¹ y que sostienen la existencia de relaciones subordinadas entre las disciplinas (e.g. la Arqueología como accesoria a la Historia, o viceversa). Para acercarnos al conocimiento de ciertos aspectos de la realidad social —en nuestro caso, los cambios en la tecnología naval moderna— es necesario que estos sean abordados desde la óptica de diferentes disciplinas. La complejidad de las relaciones en juego escapa a las posibilidades de una mirada exclusiva. En este sentido hablamos de sistemas complejos, noción que ha tenido eco en la obra de varios investigadores de las Ciencias sociales durante el último medio siglo (véase García 2013). Para superar el sesgo propio de los recortes disciplinares y alcanzar una imagen exhaustiva de aquellos, es fundamental ampararse en las investigaciones interdisciplinarias para obtener una mirada más amplia e integral de eventos y procesos del pasado.

En este trabajo, el manejo de distintas fuentes de información estuvo motivado fundamentalmente por la posibilidad que ello nos ofrece para realizar una interpretación más detallada y completa de los hechos. Expusimos algunos de los aspectos susceptibles de ser estudiados por medio de los restos metálicos de naufragios, así como los lineamientos generales que a nuestro entender permiten integrar diversas fuentes de información, perspectivas de análisis y líneas de investigación, que asimismo pueden ser articuladas a diferentes escalas (véanse los capítulos 4 y 5).

Forjando puentes: datos técnicos e interrogantes sociales

Hace algunos años, un grupo de ingenieros de la Universidad de Missouri-ROLLA comprobaron por intermedio de una serie de análisis físico-químicos que el material con el que había sido construido el casco del *RMS Titanic* (1912), a pesar de cumplir con los estándares de la época, no era apto para el trabajo a bajas temperaturas, tales como aquellas a las que estuvo sometido en sus últimos días (Felkins et al. 1998). Estos especialistas titularon su trabajo 'Did a Metallurgical

¹ Para mayor información sobre los criterios de ordenación y clasificación de las disciplinas a lo largo de la historia, véase San Segundo Manuel 1996; Saldivia 1999; Gianella 2006; entre otros.

Failure Cause a Night to Remember?'.² Pese a que la insinuación detrás de este encabezado quedó a la sombra de los efectos de la violenta colisión con la masa de hielo, el peritaje llevado a cabo por los especialistas ofreció razones adicionales para entender por qué el impacto tuvo consecuencias tan severas e irremediables sobre el casco del barco, que lo llevaron al fondo del océano.

Señalamos este caso para retomar la idea de que el análisis de la tecnología del pasado por medio de la articulación de diferentes fuentes de información y enfoques de análisis concomitantes, puede redundar en un panorama más exhaustivo, e incluso insospechado, acerca de la problemática bajo estudio. En este sentido, insistimos, los acercamientos interdisciplinarios resultan especialmente fructíferos. En el capítulo 4 mencionamos que la clave reside en utilizar los datos obtenidos a partir de los análisis de caracterización de los materiales para resolver interrogantes acerca del quehacer humano en el pasado. Esta encomiable tarea requiere, desde un principio, de una estrecha vinculación entre los especialistas de las varias disciplinas. En tal sentido, el trabajo interdisciplinario no consiste meramente en acopiar datos obtenidos por diversos medios, ni en adoptar una postura generalista, aunque sí es necesario contar con ciertos conocimientos básicos de otras disciplinas. La síntesis debe buscarse en el comienzo y durante el transcurso de la labor investigativa y no al final. La formulación y resolución de un tema de manera cooperativa entre pares, a partir de un entendimiento mutuo, parece un buen punto de partida. Aquí yacen los pilares del puente entre los datos analíticos y los interrogantes sociales.

En esta investigación nos abocamos a estudiar una serie de cuestiones relativas a la tecnología naval durante los inicios del período de industrialización en Gran Bretaña y otras regiones de Europa. Como vimos, las transformaciones ocurridas durante este tiempo fueron de carácter económico, político e ideológico y tuvieron importantes consecuencias socioculturales tanto en aquel continente como en el resto del mundo. Dentro de este escenario, signado por la expansión comercial (mercados internos y de ultramar) y los conflictos bélicos entre las principales potencias, los barcos de guerra cumplieron un rol significativo, cuando no primordial. En cuanto a la industria, ciertos rubros sufrieron hondas transformaciones en materia técnica y de organización, mientras que otros

² '¿Dio origen una falla metalúrgica a una noche memorable?'

permanecieron sin cambios sustanciales. El sector naval, dada su relevancia, estuvo en la mira de los representantes de una multiplicidad de ámbitos (e.g. político, militar, industrial y científico) y también fue objeto de varias innovaciones. Puntualmente, aquí nos concentramos en aquellas que afectaron a algunos de los principales componentes de metal de los barcos.

De cara a cumplir con los objetivos planteados estudiamos un grupo de barcos de guerra británicos —a estos les dimos prioridad— franceses y españoles, que cubren un período entre mediados del siglo XVIII y las primeras décadas del siglo XIX. Realizamos una investigación que aunó dos líneas principales de evidencia: por un lado, los restos arqueológicos de varios sitios; por otro, fuentes documentales sobre la tecnología contemporánea. En el caso de los materiales disponibles, nos abocamos a un conjunto de objetos metálicos pertenecientes a las siguientes categorías: estructura del casco (pernos, clavos y aforro); equipamiento náutico (anclas, bombas de sentina y timón); artillería (cañones y municiones) y a modo complementario, elementos de la jarcia y algunos accesorios de interés. Nos interesamos en estos componentes por estar relacionados directamente con la operatividad de los barcos y, en última instancia, con el cumplimiento de las actividades en las que estuvieron envueltos. A los resultados del estudio morfológico y funcional de las piezas, sumamos una serie de datos obtenidos del análisis arqueométrico de un conjunto más selecto de muestras. Aplicamos diferentes métodos y técnicas de caracterización físico-química, de tipo cualitativo, semi-cuantitativo y cuantitativo. Como criterio general, a fin de minimizar errores de interpretación debido a los efectos del deterioro de las piezas sobre su microestructura y composición química, se procuró que la superficie de las probetas sobre las que se llevaron a cabo los análisis no presentara indicios de corrosión (esto se logró en la mayor parte de los casos). Sumado a lo anterior, teniendo en cuenta la variabilidad que suelen presentar los materiales, efectuamos múltiples mediciones/observaciones para obtener un panorama representativo de cada caso.

Los datos alcanzados, reunidos y comparados con la información obtenida de la investigación de otros sitios por parte de referentes en la materia, nos brindaron la posibilidad de dar cuenta de algunos pormenores de la temática bajo estudio. Y como en el caso del trabajo sobre el *Titanic* al que hicimos mención al principio, en

ocasiones fue posible ofrecer una perspectiva novedosa acerca de algunos asuntos. Esta investigación orbitó alrededor de varios elementos de la tecnología naval que fueron materia de preocupación para las personas que estuvieron de algún modo comprometidas con el crecimiento industrial y fortalecimiento de las flotas. Nos referimos específicamente a tres aspectos que confluyen, se interrelacionan y condicionan mutuamente, en la esfera de la producción: el diseño, los materiales y los métodos de fabricación.

LOS NAUFRAGIOS DESDE UNA PERSPECTIVA ARQUEO-HISTÓRICA REGIONAL

En esta tesis señalamos la relevancia de realizar un análisis integral de la evidencia arqueológica e histórica, desde una perspectiva regional. El estudio de naufragios de época moderna constituye un medio privilegiado para indagar sobre una multiplicidad de cuestiones sobre las actividades relacionadas con la navegación, e incluso más allá de esta última. Las investigaciones realizadas en el ámbito de la arqueología marítima histórica constituyen un aporte importante en este sentido. En buena medida, los trabajos permanecen enfocados en barcos singulares, lo que supone ciertas limitaciones interpretativas. Varios temas demandan superar esta situación y abogar por la articulación de información procedente de una multiplicidad de sitios. Por obvia que resulte la expresión, cualquier investigación sobre el cambio tecnológico debería sustentarse en una aproximación de índole comparativa, preferiblemente a partir de naufragios identificados y para los que se cuenta con abundantes datos arqueológicos e históricos.

De cara a cumplir con esta premisa, escogimos como muestra de análisis una colección de artefactos procedentes de naufragios británicos, franceses y españoles que cubren el período de interés, a saber: la corbeta de guerra *HMS Swift* (1770), el navío español *Triunfante* (1795), los navíos franceses *Fougueux* (1805) y *Bucentaure* (1805) y el transporte británico *Deltebre I* (1813). Dedicamos un apartado especial para cada barco, donde expusimos de forma detallada los

resultados de los estudios llevados a cabo (véanse los anexos 6 a 10). Debido al carácter relativamente escueto del conjunto, como apoyatura adicional utilizamos los datos publicados e inéditos sobre los trabajos realizados en otros sitios (i.e. paralelos arqueológicos) de provecho para nuestro tema de investigación (véase el capítulo 5).

Fundamentamos nuestras afirmaciones en la interpretación de varias líneas de evidencia a diferentes escalas de análisis. Aunamos los datos de procedencia arqueológica e histórica; aunque hicimos hincapié en los primeros, procuramos no otorgarles preeminencia, atendiendo a las posibilidades y limitaciones de cada una de las fuentes de información. Ambas, en definitiva, resultaron fundamentales para la elaboración del escenario al que arribamos. Los naufragios fueron considerados de forma singular y en clave comparativa. En particular, nos interesa resaltar el aporte brindado por los diferentes estudios microestructurales y de composición química de los objetos. Esta aproximación sintética, tal como notamos, redundó en un examen más exhaustivo de la evidencia arqueológica.

Los resultados presentados en esta tesis pueden considerarse un aporte con múltiples aristas. Primero y principalmente, con respecto al conocimiento de la producción y el uso de los componentes de metal en barcos de madera y —dadas las circunstancias y profundidad temporal del análisis— a la problemática de las innovaciones tecnológicas en el ámbito naval. En honor a la utilidad de la perspectiva que adoptamos, también revisten interés para el estudio del proceso de industrialización, sobre todo si tenemos en cuenta la importancia que tuvieron la construcción naval y la fundición de cañones en aquel contexto. Recordemos que los arsenales fueron complejos establecimientos fabriles, adonde confluyeron desde temprano varios aspectos típicos del mundo industrial moderno. Además, los análisis específicos llevados a cabo con los materiales de naufragios suscitaron algunas consideraciones de carácter metodológico con respecto a la identificación de las coordenadas temporales y espaciales de los objetos. Habida cuenta de que pueden resultar de utilidad para futuros trabajos, haremos algunos comentarios al respecto antes de pasar a la materia central de nuestro análisis.

Comentarios sobre la identificación de los naufragios

Los cambios ocurridos en torno a los materiales y los métodos de producción utilizados constituyen —en momentos para los que se cuenta con abundantes fuentes documentales— una vía adicional para aproximarnos a la época y procedencia de los objetos recuperados de un sitio arqueológico. Esto resulta particularmente útil en aquellos casos en que no se dispone de evidencia complementaria (e.g. en el caso de hallazgos dispersos). Las siguientes reflexiones suplementan lo dicho en el capítulo 5.

En cuanto a la adscripción cronológica, ciertas aleaciones pueden ser consideradas en sentido amplio como un *terminus post quem*. No obstante, es necesario resaltar que los datos derivados de los análisis específicos —cuya interpretación, recordemos, depende de un corpus de datos confiable de comparación— no ofrecen un límite bien definido. A modo de medida cautelar, al utilizar este tipo de información también debemos tener siempre presentes las posibles instancias de experimentación que precedieron la adopción efectiva (i.e. innovación) de cierto material u objeto de carácter novedoso, así como la continuidad de aquellos empleados previamente. Podemos citar un caso que sirve para ilustrar la situación anterior: el uso del metal Muntz para el aforro de los barcos.

Ya vimos que el uso de la aleación ca. Cu 60 % y Zn 40 %, más conocida por el apellido de quien obtuvo la patente en 1832, se introdujo en el mercado de forma extensiva pocos años después de aquella fecha. Por tanto, la existencia de chapas de este material en un sitio arqueológico suele utilizarse como un indicador temporal confiable para afirmar que los restos en cuestión corresponden a un naufragio contemporáneo o posterior a 1840. No obstante, más allá de las dificultades que suelen presentar las muestras de latón arqueológicas para determinar su composición original debido al deterioro por descincificación (véase MacLeod y Pitrun 1986; MacLeod 1994, para más información) la situación exige tener en cuenta que durante las primeras décadas del siglo XIX se realizaron numerosas experimentaciones. De hecho, es posible que el afamado metal Muntz no haya sido más que la copia de una aleación ya conocida. En 1800, Collins patentó el revestimiento amarillo (*yellow sheathing*), que según sus

especificaciones consistía en una aleación de 100 partes de cobre y 80 partes de zinc (ca. Cu 55 % y Zn 45 %), cuyas proporciones podían ser variables (Ure 1853:596).

Tanto esta como otras situaciones (e.g. el caso de la fundición gris usada en las balas rasas y de metralla, que comentaremos luego) apuntan no sólo a la necesidad de tener en cuenta múltiples fuentes de información durante la investigación de un naufragio, cosa harto conocida, en especial a la hora de evaluar su cronología relativa. Exhorta, sobre todo, a reconocer que muchos adelantos, incluso aquellos que lograron amplia aceptación en un corto plazo, fueron el resultado de un largo proceso de experimentación y coexistieron durante algún tiempo, según las circunstancias particulares, con las modalidades técnicas previas. La evaluación de este tipo de escenarios, hemos visto a lo largo de la tesis, resulta crucial en cualquier análisis sobre los procesos de cambio.

Las implicaciones arqueológicas de los estudios de caracterización rebasan incluso los aspectos mencionados. Adquieren singular utilidad para el análisis de los procesos de formación de los sitios, del deterioro sufrido por los materiales y de las medidas más adecuadas para su conservación (e.g. MacLeod 1989, 1996; MacLeod y Pitrun 1986; Bethencourt et al. 2004; Heldtberg et al. 2004). Sobre la base de este tipo de investigaciones, algunos llegaron a enunciar un procedimiento para establecer de modo aproximado el tiempo de permanencia bajo el agua de ciertas piezas (e.g. Carpenter y MacLeod 1993, citado en Stanbury 1998:228). En otras palabras, un método de datación indirecto que puede ser provechoso para el caso de naufragios indeterminados.

Ocasionalmente, con la cautela que exige este tipo de interpretaciones, la información acerca de la composición química de los materiales constituye un importante elemento de evaluación al momento de identificar si restos dispersos en un área pertenecen a un mismo naufragio. El caso del *HMS Sirius* (1790) sirve como muestra de ello. Los vestigios de este barco se encuentran localizados a escasa profundidad y agrupados en cinco puntos a lo largo de un amplio sector (los sitios Nos. 1 y 5, por ejemplo, distan entre sí unos 350 m). Las semejanzas que presentan entre sí las aleaciones con que fueron hechos el cáncamo de la cadena del timón (que lleva inscripto el primer nombre que tuvo el barco: *Berwick*), un macho y una hembra del codaste, así como otros accesorios hallados en el área de

estudio, sugieren que estas piezas provienen del mismo naufragio (Stanbury 1998:222; para mayor información sobre los datos obtenidos véase MacLeod 1985, 1994; Stanbury 1994).

Un procedimiento similar puede a su vez aplicarse entre los restos de dos barcos pertenecientes a un mismo pabellón. En esta investigación comparamos algunos elementos de sujeción estructurales del *Fougueux* (1805) y otros presumiblemente asociados al *Bucentaure* (1805), tomando como fuente de referencia al primero, que había sido previamente identificado a partir de varias líneas de evidencia. Las características microestructurales y composición química de las muestras analizadas presentan notables semejanzas entre sí. A partir de estas se determinó que los clavos y pernos recuperados de estos sitios fueron manufacturados con cobre sin alear, mediante un proceso de martillado en caliente. Es particularmente llamativa la similitud entre los elementos minoritarios (impurezas, bajo la forma de inclusiones) presentes en el material utilizado (véanse los anexos 8 y 9). Los resultados obtenidos, en definitiva, constituyen una nueva fuente de información a favor de la identificación de los restos hallados en el sitio Bajo Chapitel como el naufragio *Bucentaure*. Los elementos traza también pueden aportar información para precisar de qué yacimientos provienen los materiales empleados. Este tipo de análisis, basado en la “firma digital” de las piezas, reviste especial interés para el estudio de la circulación de materias primas y/o objetos. Pero requiere de una base de referencia sobre las fuentes de mineral para comparar los datos obtenidos del estudio de los restos arqueológicos. Las investigaciones realizadas en este sentido con restos de naufragios modernos aún son escasos (e.g. Marr 2012; Birch et al. 2014; Cohen et al. 2015).

Las posibilidades que brinda el estudio de los restos asociados a naufragios, tanto con respecto a su identificación —y otras cuestiones esenciales durante una primera aproximación a los sitios— como para el conocimiento de los cambios tecnológicos ocurridos en el pasado y demás líneas de indagación, dependerán estrechamente de la orientación de las investigaciones. En este sentido, debemos insistir, el análisis interdisciplinario adquiere un papel preponderante.

Veremos a continuación las principales consideraciones que se desprenden del análisis de los datos alcanzados en esta tesis con respecto a las innovaciones que

experimentaron aquellos componentes de metal fundamentales para la operatividad de los barcos de guerra.

Las ventajas operativas

Desde la segunda mitad del siglo xvii, Inglaterra estuvo involucrada en una serie de conflictos navales con los principales estados de su tiempo (Holanda, Francia y España). En el transcurso de la siguiente centuria demostró ser la principal potencia naval europea y selló su posición hegemónica tras la derrota de Napoleón, a principios del siglo xix. En aras de controlar los mares, rutas comerciales y territorios de ultramar, los británicos buscaron contar con una flota que sobrepasara a las de sus adversarios. Las inversiones en infraestructura, organización, construcción de barcos, equipamiento, personal especializado e instrucción marinera, entre los aspectos más sobresalientes, fueron ingentes. La solución fue integral. Los españoles y franceses también apostaron a renovar sus flotas, aunque a la vez debieron atender a sus ejércitos. El desenlace de las numerosas batallas navales libradas entre flotas o unos pocos barcos dependió de la interdependencia de estos y otros componentes, pero ninguno fue decisivo por sí solo. Una faceta de este complejo escenario tiene que ver con las innovaciones que redundaron en ciertas ventajas operativas para las naves de guerra: velocidad, maniobrabilidad, durabilidad y seguridad.³

En el capítulo 6 analizamos los elementos de sujeción estructurales (pernos y clavos) y el aforro de cobre (chapas y tachuelas) del casco. Dimos cuenta de la importancia que tenían estas piezas de metal para mantener en su lugar los principales componentes de madera de un barco (quilla, cuadernas, curvas, baos, etc.) y protegerlo de los organismos marinos que afectaban su integridad física e hidrodinámica. Hasta el último tercio del siglo xviii, los pernos y clavos de metal de uso corriente eran de hierro. Estaban complementados, en muchos casos, con cabillas de madera. Como vimos, las piezas de metal se fabricaban en las fraguas de

³ La velocidad de los barcos, en particular, tenía ventajas significativas para la acción. Era un componente de la denominada *velocidad estratégica*, que en líneas generales era el medio que permitía obtener y aprovechar una situación táctica favorable (Castex 1940:212).

los astilleros o ferrerías particulares a partir de tochos (por lo general convertidos en barras), a los que se les daba forma mediante martillado en caliente. La producción del hierro presentó diferencias significativas entre Gran Bretaña y los países continentales. La disponibilidad de minerales y bosques de buena calidad en algunas zonas de Francia y, sobre todo, en el norte de España, garantizó allí el desarrollo de la industria local, mientras que las Islas británicas dependieron estrechamente de la importación de hierro para la fabricación de sus productos. No obstante, mientras que en Inglaterra se incorporó desde temprano el alto horno y el coque como combustible, las otras dos naciones permanecieron aferradas durante más tiempo a los métodos tradicionales: continuaron trabajando en hornos bajos y con carbón vegetal hasta comienzos del siglo XIX. La temprana mecanización parcial de las operaciones también distinguió a aquel Estado insular de los otros, que hasta la segunda mitad del siglo XVIII se valieron fundamentalmente del trabajo manual. En el año 1783 ocurrió un cambio importante: la doble patente de Henry Cort. El hierro pudelado combinó calidad y abaratamiento, por lo que fue muypreciado para la elaboración de diferentes tipos de productos para la industria naval. La adopción del aforro de cobre traería aparejado otro cambio importante con respecto a los materiales y métodos de fabricación de los elementos de sujeción del casco de los barcos.

El revestimiento de cobre le otorgó a los barcos de guerra ciertas ventajas, en particular mayor velocidad, maniobrabilidad y durabilidad. Los barcos forrados con cobre eran al menos un 10 % más veloces que el resto y, en comparación, requerían de escaso mantenimiento.⁴ Por estas razones fue luego utilizado en los barcos mercantes destinados al comercio de ultramar.⁵ Pese a ser más costoso que las alternativas disponibles (e.g. revestimiento de pino), la inversión se vio justificada frente a la necesidad de contar con una flota activa en el exterior, sobre todo en aguas tropicales, durante largos períodos de tiempo. La utilidad de este tipo de protección había sido reconocida desde comienzos del siglo XVIII, aunque los primeros pasos serios en pos de su aceptación debieron esperar unos cincuenta

⁴ A diferencia de los barcos con forro de sacrificio, el carenado debía realizarse en dique seco. En este caso, como en otros, la infraestructura con la que contaban los británicos les reportó una ventaja adicional frente a las otras dos potencias continentales.

⁵ Para un análisis sobre la significancia del aforro y el ritmo de adopción dentro de la marina mercante británica durante los primeros años, véase Rees (1971).

años. Los británicos lideraron el proceso de experimentación e implementación de la novedad. Luego de algunas pruebas parciales (e.g. la quilla del *HMS Invincible*), en la década de 1760 se forraron por completo varias fragatas. Los resultados fueron alentadores en un sentido, pero alarmantes en otro. Debemos recordar en este punto la interdependencia funcional que existía entre las partes de un barco.⁶ Aunque las chapas probaron ser eficaces para resolver el clásico problema de los organismos perforantes (broma) e incrustantes, tuvo consecuencias nefastas para los elementos de sujeción del casco y otros componentes de hierro (e.g. goznes del timón) ubicados por debajo de la línea de flotación. Una vez reconocido este escollo, de inmediato se plantearon algunas opciones para superarlo. Pero antes de obtener un remedio satisfactorio, el estallido de la guerra con los EE.UU. motivó a finales de la década de 1770 la implementación de un programa acelerado para forrar las fragatas y navíos de la flota británica.

La solución al susodicho problema de la corrosión en el medio marítimo se determinó sobre bases empíricas: consistía en reemplazar los elementos de hierro por pernería y clavazón de cobre (o aleación de cobre, estaño y zinc, denominada *mixed metal*). En un principio, sin embargo, sus prestaciones mecánicas no se consideraron aptas para soportar los esfuerzos a los que regularmente estaba sometida la estructura de los barcos. El desafío presentado fue doble. La posibilidad de concretar este cambio vino de la mano de un avance colateral, en torno a la producción de la pernería. En 1784, Forbes, inspirado en la máquina de rodillos que utilizó Cort como parte del proceso de afino del hierro, obtuvo por primera vez pernos de cobre 'endurecido' adecuados para el trabajo. Estos, incluso, fueron valorados como superiores a algunos de hierro (e.g. a los utilizados entonces en Francia). Los pernos y clavos manufacturados en hierro sufrieron una merma importante, aunque continuaron empleándose en otros sectores de los barcos (obra muerta) y en los que no estaban forrados con cobre. Debe tenerse presente que las piezas de hierro eran más económicas y, para muchos, tenían mejores prestaciones mecánicas. Por ello, los barcos no fueron clavados innecesariamente ni se utilizaron elementos de cobre en sectores adonde no había peligro de corrosión. Francia siguió de cerca a Inglaterra, gracias a su habitual

⁶ Esta interdependencia da cuenta en parte de la importancia que tuvieron los procesos de compromiso en el ámbito del diseño naval (Conlin 1998:6).

política de obtención de información mediante el espionaje militar e industrial. Comprobadas las ventajas del ahorro de cobre y enterados del modo de prevenir el deterioro de los elementos de sujeción, los franceses se pusieron en marcha para proveer a sus barcos con este sistema de protección. Los españoles obraron en este sentido un poco más tarde, si bien durante unos años continuaron utilizando otras soluciones técnicas, que incluyeron el empleo combinado de forro de sacrificio y de cobre.

Las planchas utilizadas por estas potencias presentaban algunas variaciones morfológicas. En cuanto a los materiales, la evidencia disponible indica que hasta principios del siglo XIX predominó el cobre sin alear. En esos años comenzaron a realizarse algunas pruebas, en su mayoría con aleaciones de cobre y zinc en múltiples proporciones. La forma tradicional de obtener las chapas de cobre fue por medio de martillado o bien en caliente o bien en frío (con recocido). Los talleres de laminación reemplazaron paulatinamente esta modalidad de fabricación durante el 1700, primero en los talleres de Gran Bretaña y más tarde en los del continente. Estudios llevados a cabo sobre chapas de naufragios no permitieron reconocer diferencias significativas a nivel microestructural que puedan asociarse a una u otra modalidad. Aun así, el estudio comparado de la microestructura de este tipo de piezas puede aportar información de interés acerca de los cambios en torno a las operaciones de obtención y refinado de los metales. Las chapas que cubren un período desde principios del siglo XVII hasta la segunda mitad del siglo XIX muestran notables discrepancias con respecto al contenido de impurezas (e.g. inclusiones de óxido de cobre y compuestos con contenido mayoritario de plomo). Si tomamos por caso las muestras de los barcos neerlandeses *Batavia* (1629) y *Zeewijk* (1727), analizadas por MacLeod y Pitrun (1986) y las comparamos con las de otros naufragios europeos posteriores, es probable que la variabilidad responda a una mejora progresiva en las prácticas de función, sobre todo a partir de la introducción de este sistema de protección en las armadas. Estas diferencias pueden además estar relacionadas con las características del mineral utilizado en cada región. Al respecto, vimos que las chapas halladas en barcos británicos de los siglos XVIII y XIX exhiben un contenido de plomo y de otros elementos minoritarios menor al que presentan las planchas usadas en barcos continentales. Otros objetos de cobre muestran asimismo, para una misma época, la buena calidad del cobre

usado en los barcos de la Real Armada británica. Vale notar que las planchas sufrían un desgaste heterogéneo, que en esos tiempos se atribuyó a la ubicación que ocupaban en el casco y al método de fabricación e impurezas del material. Las medidas adoptadas fueron esencialmente prácticas: utilizar chapas de varios espesores y laminadas, por considerarse estas últimas superiores a las de cobre batido. Como antecedente notable sobre los estudios realizados durante el siglo XIX para evaluar el comportamiento de este metal en el medio marítimo —acaso el más reputado fue el de Humphry Davy— no podemos dejar de citar el trabajo del químico francés radicado en España Joseph L. Proust, publicado en 1795.

Las experimentaciones también llevaron a la sustitución parcial de los clavos de cobre utilizados en la estructura del casco por los de aleación de cobre. A diferencia de los primeros, que eran forjados en caliente o en frío (con recocido) a partir de pequeños tochos,⁷ estos últimos se fabricaron usualmente mediante moldeo. Los objetos recuperados de naufragios de la primera mitad del siglo XIX, en especial de las primeras décadas, muestran en conjunto una gran diversidad con respecto a las aleaciones utilizadas. Estas incluyen latones (cobre-zinc) y bronce (cobre-estaño) con contenidos variables de zinc y plomo en menor proporción. Estos elementos reportaron varias ventajas técnicas con relación a la producción (e.g. mejorar la colabilidad y bajar el punto de fusión) y el uso (e.g. aumentar la resistencia a la tracción y a la corrosión) de las piezas. Más allá de la variabilidad en cuanto a los aleantes y sus proporciones, todos los estudios indican que se desempeñaron adecuadamente en el ámbito para el que habían sido pensadas. Por otro lado, también se ha reportado el hallazgo de clavos de cobre y de aleación en un mismo barco. Entre otras opciones, esto puede estar indicando una instancia de reparación o un uso diferencial intencionado, para sujetar componentes de madera disímiles.⁸ Los clavos de aleación de cobre tenían una ventaja adicional: su

⁷ Al igual que en el caso de las planchas de cobre, es sumamente difícil establecer una distinción entre las estructuras de un material que fue deformado plásticamente por encima de su temperatura de recristalización y otro que fue trabajado en frío y luego sujeto a un tratamiento de recocido completo. En algunos casos, aspectos tales como granos recristalizados de tamaño comparativamente pequeño e inclusiones no metálicas alongadas y fragmentadas, pueden ser indicativos de un material deformado en frío que luego fue sujeto a cierto grado de recocido.

⁸ En el sitio Akko 1 (ca. 1840) se hallaron dos tipos de clavos de latón, que mostraron diferentes concentraciones de zinc y microestructuras. Los investigadores resaltaron que aun cuando pudieron haberse fabricado para ser utilizados con fines diferentes, sirvieron para sujetar las mismas tablas de forro (Cohen et al. 2015:199).

baratura. En el caso de los de latón, los costes de material y fabricación eran significativamente menores. Dadas sus prestaciones, este material se utilizó ampliamente en pernos y clavos, sobre todo a partir de la introducción del aforro patentado por George Muntz en 1832 (ca. cobre 60 % y zinc 40 %).

Los barcos de guerra requirieron de ingentes cantidades de tachuelas para fijar las planchas del aforro de cobre. Dada la nueva demanda naval, estos pequeños objetos empezaron a producirse por centenares de miles. Mucho tiempo antes del uso extendido de aquel revestimiento, las tachuelas de cobre o aleación de cobre se utilizaron en menor escala para diversos fines (e.g. durante el siglo xvii, para el forro de plomo). En cuanto a la producción, el método más usual fue el moldeo, aunque también hay evidencia material del uso de tachuelas manufacturadas a partir de alambres de cobre. No obstante, durante la segunda mitad del siglo xviii y la primera del xix predominaron las piezas de aleación de cobre, principalmente hechas en bronce. Los vestigios de naufragios de este período dan cuenta de una importante variabilidad con relación al porcentaje de los aleantes incorporados *ex profeso* (estaño, zinc y plomo), muchas veces al interior de un único sitio. Las razones para dar cuenta de esto último incluyen la existencia de tachuelas producto de recorridos, el control flexible o irregular de la producción y diferentes criterios acerca de la calidad de las aleaciones (más abajo veremos el caso de los elementos traza). No parece que las diferencias registradas hayan afectado significativamente la eficacia de las piezas, hecho que apunta a la existencia de factores adicionales. El estudio de tachuelas (y otros objetos) llevados a bordo como parte de la carga puede ofrecer información novedosa acerca de los estándares de producción para determinadas coordenadas temporales y espaciales. En el caso del sitio Deltebre I (1813), a partir del análisis de un grupo de muestras que no presentaban rastros de uso, pudimos determinar que se produjeron en bronce mediante moldeo. En líneas generales, la regularidad que muestran los principales aleantes de las tachuelas sugiere que provienen de una misma usina y que fueron elaboradas bajo cierto control de la calidad. Por otro lado, las ligeras variaciones registradas en los elementos minoritarios se atribuyeron a la existencia de varios lotes. Lo anterior es sugerente, ya que denota la permanencia de técnicas típicamente artesanales para la producción de grandes cantidades de piezas dentro de un contexto de creciente industrialización.

En el capítulo 7 nos ocupamos del equipamiento náutico, i.e. las anclas, las bombas de sentina y el timón. A grandes rasgos, estos componentes permitían fondear, mantener a flote y gobernar un barco de guerra; de allí la importancia que tenían para su operatividad. En la primera sección, dedicada al sistema de fondeo, presentamos las características básicas de las anclas con cepo de madera que emplearon las potencias europeas (tipos, partes, dimensiones, número y ubicación a bordo, etc.) y su manejo. También mencionamos otros elementos de fondeo y espía utilizados en diferentes contextos. Básicamente, las anclas permitían aferrar un barco al fondo, por lo que eran consideradas el elemento de seguridad por antonomasia. Los barcos de guerra estaban equipados con varias anclas, cuyo número y peso dependían de su porte (e.g. un navío británico de 74 cañones llevaba cuatro anclas de leva, un ancla de espía y un anclote). Los cambios más notables con relación a esas dos variables pueden apreciarse al comparar los siglos XVII y XVIII: la tendencia fue emplear menos anclas, pero cada vez más pesadas. Esta última centuria, aun cuando pueden apreciarse ligeras modificaciones, fue un período de mayor estabilidad en cuanto a lo estipulado en las reglamentaciones. La definición de los modelos también fue un rasgo sobresaliente, que quedó plasmado en los tratados —o apartados especiales de obras más generales, realizadas por técnicos y académicos— que por primera vez se dedicaron a este tema en particular. La morfología de las anclas británicas fue distintiva (e.g. los brazos rectos y la cruz puntiaguda) y mostró una notable regularidad a lo largo del tiempo. Este modelo fue conocido como *Old Admiralty Longshank*. Las piezas francesas y españolas, en cambio, exhibían varias similitudes entre sí en lo que al aspecto exterior concierne. En los trabajos y ordenanzas de la época encontramos información tabulada con las dimensiones de las partes de un ancla, que junto con las pautas sobre el diseño constituye una fuente singular para la identificación de las piezas halladas en naufragios. El análisis aplica en particular a la procedencia de las anclas, pero no se extiende necesariamente a la de los barcos que, como vimos, podían estar equipados con piezas de diferente nacionalidad. Aunque esto último resultaría muy irregular en el marco de las marinas de guerra, no puede ser descartado de antemano. Allende los aspectos diagnósticos ya referidos, solían existir leves diferencias en la morfología y el tamaño de las piezas de una determinada proveniencia. En este sentido, no puede hablarse de una

estandarización propiamente dicha, máxime teniendo en cuenta que la producción de anclas estaba basada en los criterios marcados por la experiencia de cada maestro ancorero. Lo anterior pone de manifiesto la distancia que existía entre la teoría y la práctica, que muchas veces mantuvieron un diálogo desbalanceado.⁹

Llama la atención que el diseño básico de las anclas prácticamente no sufriera cambios durante todo el siglo XVIII, pese a que no estuvieron exentas de serias fallas. Los reportes de pérdidas y refacciones dan sobrada cuenta de ello. El principal punto débil de las anclas británicas, donde solían quebrarse pese a los recaudos tomados por los ancoreros, era la unión de los brazos con la caña. La respuesta a esta situación particular parece tener una doble componente. El ángulo que formaban los brazos con relación a la caña fue un aspecto central, dado que de este dependían la capacidad de agarre y la fortaleza de las piezas. La solución de compromiso óptima se alcanzó tempranamente por parte de los especialistas (e.g. Sutherland, Réaumur), al menos en cuanto a lo formal, al establecerse una relación de aproximadamente 60°. De allí que, pese a las ligeras variaciones en las medidas de las otras partes, las anclas de aquel entonces no experimentaran sustanciales cambios. El otro aspecto a considerar, que no pudo resolverse sino hasta entrado el siglo XIX, tuvo que ver con los defectos asociados a las limitaciones propias de los medios aplicados para su producción en las ancorerías.

La función que debían cumplir las anclas demandó especial esmero por parte de los martilladores. Junto con la fundición de cañones, la manufactura de este tipo de piezas puede considerarse una de las actividades metalúrgicas más complejas de su tiempo. Como vimos, el proceso solía realizarse en usinas especiales que estaban equipadas con fraguas, martinets y grúas. El proceso de forjado en caliente incluía una combinación de operaciones, tanto manuales como asistidas por aquellos martillos mecánicos, que podían estar accionados por medio de energía hidráulica. Ello dependía, básicamente, de la disponibilidad de cursos de agua permanentes. Debido a limitaciones técnicas para producir grandes masas de hierro, la caña y los brazos de las anclas debían elaborarse por medio de la unión de varias barras de hierro. El mayor desafío residía en lograr una adecuada unión

⁹ Podemos decir que esta distancia también vale para el caso de los constructores navales, fundidores de cañones, etc., que no siempre seguían los planos de modo textual.

entre las superficies, en especial de los sectores que estaban más tensionados durante el uso. El método empleado para fabricar anclas en Gran Bretaña y Francia era similar. Tenía de peculiar que cada una de las secciones mencionadas se obtenía a partir de un haz de barras del largo correspondiente, que se forjaba hasta obtener una masa sólida (i.e. la caña y los brazos). En España, en lugar de los atadillos, los martilladores soldaban entre sí tochos cortos que tenían la misma sección que la caña o los brazos, según el caso. Mediante este último, según consta en algunas fuentes documentales, era posible trabajar a una temperatura uniforme y lograr de ese modo una completa unión de las superficies de contacto. De allí que las anclas de la península —puntualmente, las que se hacían en el norte— fueran tan apreciadas.

La calidad de la materia prima también fue un menester esencial. España descolló por cuanto las menas de hierro del reino eran consideradas de excelencia. No sucedía lo mismo en Gran Bretaña, cuyos minerales de hierro adolecían de gran contenido de azufre y fósforo. Esta situación se vio agravada por la adopción del coque como combustible desde comienzos del siglo XVIII, que también tenía impurezas perjudiciales para el conformado y uso de los objetos de hierro. Por tal razón, para este tipo de fábricas tuvieron que importarse grandes volúmenes de hierro forjado durante buena parte de la centuria, fundamentalmente de Suecia (el de Öregrund fue el más solicitado por la armada). Aquella potencia dependió de los países del Báltico para este y otros recursos navales de primera línea, por lo que buscó mantener con ellos buenas relaciones diplomáticas a lo largo de los años. Al igual que en otros casos, los estudios arqueométricos han probado ser de suma utilidad para precisar los pormenores de la fabricación de anclas. Asimismo, las características asociadas a este proceso constituyen una vía alternativa para evaluar su procedencia. Hasta la fecha, los ejemplares estudiados de procedencia conocida corresponden a anclas británicas de la segunda mitad del siglo XVIII. La caracterización microestructural y de composición química de la pieza hallada en inmediaciones de la *HMS Swift* (1770) permitió detallar algunos aspectos relacionados con la forma de confección, la calidad de las barras de hierro y el control de la temperatura durante el proceso de forjado. En el caso del ancla extraída del *HMS Sirius* (1790) se obtuvo información adicional sobre la forma de

unión de los brazos a la caña. Estos elementos de fondeo muestran notables semejanzas entre sí, situación que da cuenta de lo expresado más arriba.

El método de pudelado patentado por Cort en 1783 tuvo serias implicaciones sobre el desarrollo de la tecnología de producción del hierro forjado. Por extensión, afectó hondamente a diversas industrias relacionadas con el ámbito naval, entre estas la ancorera. Aquel material resultó de muy buena calidad e incluso fue estimado por algunos contemporáneos como superior al procedente de Suecia. La posibilidad de identificar este nuevo tipo de hierro afinado en las anclas yace aún a un nivel programático. Habría que esperar a la siguiente centuria, luego de finalizadas las Guerras Napoleónicas, para que se produjeran los siguientes cambios significativos en materia de anclas. Los nuevos modelos incluyeron cepo de hierro (que en los anclotes se introdujo durante la segunda mitad del siglo XVIII) y cable de cadena. Estas innovaciones dependieron en parte de las mejoras previas en torno a la calidad de la materia prima y de los medios utilizados para forjar grandes masas de hierro (e.g. reemplazo de los martinets hidráulicos por otros accionados mediante la energía del vapor). En el caso de la Real Armada británica, pese a las ventajas que supuestamente reportaban estas novedades, requirieron no obstante de un extenso período de prueba. Esta situación, como otras, ilustra a la vez los condicionamientos técnicos que subyacen a ciertos cambios y el conservadurismo que tantas veces opuso resistencia a la incorporación de propuestas que se apartaban de los usos de larga data.¹⁰

Las bombas de sentina constituían otro de los elementos esenciales llevados a bordo. Estas máquinas, colocadas en el sector medio de los barcos, en cercanías del palo mayor, permitían extraer el agua acumulada diariamente en la sentina debido a las filtraciones del casco, así como en situaciones más severas, e.g. durante una tormenta. Las había de dos tipos básicos, según el principio de funcionamiento: aspirantes y de cadena o rosario (tipo noria). Las primeras eran más sencillas, fáciles de operar y de mantener, aunque eran menos eficientes que las segundas. Las armadas europeas del siglo XVIII, a excepción de la francesa, hicieron uso principalmente de las bombas de cadena. Las aspirantes, en el caso de

¹⁰ La resistencia a la implantación de novedades, cuando estas representaron una amenaza por ser competitivas, también puede rastrearse en el ámbito de la producción metalúrgica en varios momentos de la historia moderna (e.g. Alcalá-Zamora 1999:74,82; González-Pola de la Granja 1999:110, por citar dos casos de la España dieciochesca).

Gran Bretaña, se destinaron a los barcos de menor porte (e.g. las corbetas) y en ocasiones funcionaron junto con las otras, como vimos en el caso de la fragata *HMS Pandora* (1791). En Francia, aunque predominó el uso de un tipo especial de bomba aspirante, en el último cuarto de ese siglo se realizaron algunas pruebas con bombas de rosario similares a las británicas, que finalmente se adoptaron en la marina de guerra. En este caso, tampoco fue extraordinario el uso en conjunto de los dos tipos. Por caso, podemos mencionar los ejemplares localizados entre los restos del navío *Bucentaure* (1805). Consideramos que la combinación de diferentes máquinas responde a circunstancias específicas. En el primer caso, es dable suponer que se optó por una solución técnica en procura de conseguir mayor versatilidad, mientras que en el segundo es factible que se trate de una situación de experimentación.

Los tubos de las bombas utilizadas durante gran parte del siglo XVIII eran de madera, a excepción de la denominada ‘bomba real’ de los franceses que tenía una sección metálica intermedia. Entre las modificaciones que se hicieron para mejorar las bombas de sentina, el aspecto más sobresaliente fue la sustitución de las partes de madera por piezas de metal; primero de plomo (tubos) y luego de cobre y aleación de este metal (tubos y demás partes del mecanismo). Gracias a estas reformas, las bombas aspirantes aumentaron su rendimiento: generaban menos pérdidas y desplazaban un mayor caudal de agua. No obstante, las bombas de cadena continuaron siendo el equipamiento estándar de los barcos de guerra, en particular el modelo desarrollado por William Cole y John Bentick en 1768, inclusive sus variantes ulteriores. Las mejoras técnicas dentro de este rubro parecen haber sido bienvenidas, así lo atestigua la bomba aspirante de Walter Taylor (1789) que en el plazo de unos pocos meses fue incorporada en el *HMS Pandora* (1791). Las bombas aspirantes de la *HMS Swift* (1770) combinan una serie de rasgos que dan cuenta de la transición hacia el uso de componentes de metal. El análisis de uno de los tubos estos indicó que fue manufacturado con un bronce de alto contenido de plomo, con buenas propiedades antifricción, aunque las demás características formales y piezas identificadas son típicas de las bombas aspirantes utilizadas habitualmente. El estudio exhaustivo de estas bombas, que en su mayor parte yacen soterradas, permitirá aportar información para precisar aún más este asunto.

En cuanto al gobierno de los barcos, dependía básicamente del timón. Este mecanismo era central para la maniobrabilidad; por tal motivo, en batalla, muchas veces se buscaba inutilizar el de los barcos contrarios, a fin de sellar su suerte. Durante la primera mitad del siglo XVIII, nuevamente siguiendo la experiencia británica previa, las armadas europeas fueron adoptando el timón de rueda. Era denominado así porque estaba accionado mediante una rueda, localizada en el alcázar. El movimiento generado se transmitía a la pala por intermedio de un sistema de guardines que desplazaban lateralmente la caña. Este sistema, como vimos, tenía ciertas ventajas con respecto al utilizado durante el siglo XVII. De allí en más, su diseño básico no sufrió más que ligeras modificaciones, aunque con la introducción del aforro de cobre fue necesario revestir la pala en la misma línea que el casco y reemplazar los goznes de hierro, que junto con los pernos fueron las piezas más afectadas a causa de la corrosión. Primero se probó con goznes de cobre, pero tras haber mostrado un gran desgaste se decidió fabricarlos en bronce.

Por el momento contamos con relativamente pocos resultados arqueométricos sobre los elementos que formaban parte del timón de rueda, pese a lo cual han aportado datos interesantes. El componente intermedio, i.e. la caña, era de hierro. Dadas sus dimensiones y según el examen llevado a cabo sobre los restos del timón de la *HMS Swift* (1770), podemos afirmar que su hechura era similar a la de las anclas y estuvo a cargo de los mismos artesanos especializados. La materia prima escogida, en el caso de las piezas británicas, también debió ser importada. En cuanto a los goznes de bronce, merece la pena destacar que la presencia de ciertos tenores de plomo habría facilitado el movimiento de rotación de estas articulaciones. La información disponible sugiere que los beneficios que brindaba el agregado de pequeñas cantidades de plomo en las piezas de bronce que estaban sujetas a fricción fueron advertidos por los fundidores de la época. Cabe señalar que este metal también se empleó como aleante en otras piezas sujetas a intenso movimiento rotativo (e.g. las roldanas —o bujes de roldana— de motones y cuadernales, véanse los anexos 6 y 7) y lineal alternativo (e.g. las válvulas de las bombas de sentina).

Sobre lo que hemos mencionado hasta este punto no podemos dejar de notar que, en el caso de Gran Bretaña, reconocidos contratistas de la armada (e.g. Taylor, Cole, Forbes, etc.) llevaron a cabo varios aportes técnicos en varios rubros, lo que

denota una preocupación integral por parte de estos técnicos o industriales.¹¹ Diremos también en este punto que la experimentación seguida de una evaluación pautada fue la senda típica que condujo a la introducción de estas y otras novedades (ya vimos el caso del ahorro de cobre) y que permitió en el corto plazo la resolución de los problemas que se presentaron. Las investigaciones científicas para brindar una explicación acerca del comportamiento de los fenómenos físicos y electroquímicos implicados en los procesos de fabricación y durante el uso de los objetos (e.g. calor, fricción, corrosión, etc.) por lo general corrieron desfasadas, aunque en estrecha relación con el ámbito práctico, y a la postre obraron en beneficio de las innovaciones en cuestión.

El poder de fuego de las baterías

La artillería de las armadas fue un aspecto de sumo interés, ya que constituyó el principal medio con el que se arbitraron los conflictos armados entre las flotas. El número de cañones con que estaba artillado un barco fue de suma importancia, pero no podemos recurrir al *deus ex machina* de la superior potencia de fuego de un adversario para dar cuenta del desenlace de los combates navales. Ello supondría, erróneamente, atribuirle un rol definitorio a ciertos avances tecnológicos.¹² La efectividad de cualquier tecnología dependía, en última instancia, de la capacidad de las personas que se encargaban de operarla: desde la experiencia de los marineros para navegar hasta la destreza de los artilleros para apuntar y disparar los cañones durante un combate. La Real Armada británica destacó por sobre otras, menos experimentadas en el manejo de las piezas de artillería. Ciertos adelantos técnicos oficiaron en este mismo sentido. Empero, es preciso resaltar que tanto el ritmo como la precisión de los disparos dependieron estrechamente del entrenamiento adquirido a bordo. A un nivel más amplio,

¹¹ Los motones producidos por Taylor mediante máquinas especiales eran más pequeños, livianos, baratos y generaban menor fricción que los usados corrientemente. Rodger destacó que las mejoras técnicas de este tenor contribuyeron notablemente al mejor desempeño de los barcos británicos (Rodger 2006:301,302).

¹² Recién durante la segunda mitad del siglo XIX entraron en escena tecnologías que se consideraron pasibles de cumplir por sí solas un papel decisivo en una situación de conflicto (Howard 1987:40,143).

incluso, la importancia de la tecnología naval debe evaluarse en relación a las tácticas de combate seguidas por los comandantes, que *grosso modo* podemos clasificar como ofensivas y defensivas (véase más abajo).

Dedicamos el capítulo 8 a exponer una serie de consideraciones sobre la artillería de los barcos de guerra. Vimos que entre mediados del siglo XVIII y la caída de Napoleón Bonaparte, en 1815, todos los cañones utilizados por las principales potencias europeas eran, particularidades a un lado, de avancarga. Asimismo, las piezas montadas en las fragatas y navíos de línea eran de hierro. Pese a ser más pesadas y menos seguras que las de bronce, fueron preferidas en el ámbito naval dada su notable baratura. Los barcos destinados al combate de línea eran verdaderas fortalezas flotantes. A lo largo de décadas, la piedra angular de la Real Armada británica fue el navío de 3er. orden y 74 cañones, aunque algunos de los buques de mayor porte construidos en Europa por aquel tiempo llegaron a superar el centenar de piezas. Estas estrepitosas bocas de fuego se distribuían en una o varias cubiertas, a ambos costados de los buques. Cabe mencionar en este punto que las baterías influyeron sobre las características del casco, cuya estructura estaba diseñada de modo tal que pudiera soportar su peso y, a la vez, mantener la estabilidad necesaria durante las andanadas. La paulatina adopción de refuerzos de metal para las curvas de bao a partir de mediados de dicha centuria, respondió a este cometido.¹³

Prestamos especial atención a la cuestión del diseño de las piezas pertenecientes a las diferentes armadas, en particular al calibre y al largo. Dimos cuenta de los principales tratados de artillería de la época y de algunas de las preocupaciones que desvelaron a los especialistas. Puntualmente, nos focalizamos en la operatividad de los cañones en razón de sus características morfológicas, peso, refuerzos, etc. Mencionamos el lugar primordial que tuvieron las experimentaciones realizadas a lo largo de los años como medio privilegiado para estudiar el desempeño de las piezas y poner a prueba las especulaciones basadas en el cálculo. En este ámbito, al igual que en el de la construcción naval, los trabajos de los expertos fueron leídos y valorados más allá de las fronteras de su país. Estas obras se inscribían en una línea de trabajo de larga data. Las ideas allí

¹³ Ello derivó durante el siglo XIX, en parte debido a la escasez de maderos adecuados, en el uso de curvas metálicas.

plasmadas estuvieron a la vanguardia y en muchos casos llevaron a cambios importantes, aunque también algunos conceptos equívocos muy arraigados (e.g. la relación 'directa' entre el largo de las piezas y su alcance) fueron difíciles de erradicar. Las armadas se ocuparon de sistematizar la información disponible y de establecer reglamentaciones atinentes a los aspectos formales—estas dieron lugar a los patrones o modelos—, la producción y el uso de piezas de artillería. Los rasgos que hoy consideramos diagnósticos y utilizamos para la identificación del calibre y procedencia de los cañones, fueron el resultado de este acompasado proceso de sistematización.

En cuanto al ámbito de la producción, los cañones se fundían al pie de los altos hornos en moldes individuales. El control de las operaciones involucradas durante todo el proceso era una cuestión sumamente compleja que requería de mucha experiencia. Más allá de la creciente normalización de las piezas, la práctica de la fundición dependió en parte importante de la pericia y los conocimientos de los maestros fundidores. La particularidad del propio método empleado (un único molde por pieza) hizo que no hubiera dos cañones idénticos. Estos estuvieron afectados por algunos cambios en torno a la calidad del material y la producción, que posibilitaron mejorar sus prestaciones. Por ejemplo, se buscó obtener bocas de fuego que fueran a la vez más livianas y resistentes. El peso fue un asunto importante, dado que afectaba la velocidad y maniobrabilidad de los barcos, mientras que la calidad del material tenía una estrecha correspondencia con la seguridad y la eficacia del disparo. Como requisito, los cañones para el servicio naval debían superar estrictas pruebas de fuego. Hacia la segunda mitad del siglo XVIII se produjo un cambio que tuvo serias repercusiones en la calidad de los cañones: el paso de la fundición *en hueco* a la fundición *en sólido*. El perfeccionamiento de las máquinas para calibrar o rectificar los cañones permitió que el ánima fuera taladrada partiendo de una masa sólida de hierro. Este último sistema fue aplicado en Francia durante la década de 1750 por Maritz (la máquina fue mejorada más tarde por su hijo) y a partir del último cuarto del siglo en Gran Bretaña, de la mano de John Wilkinson, que se habría basado en el diseño de aquel. En España también se utilizó la máquina de barrenado unos años más tarde, aunque los primeros intentos no fueron satisfactorios. Las referencias británicas

indican que estas piezas, aparte de contar con el ánima bien alineada y libre de imperfecciones donde pudieran alojarse rescoldos, fallaban menos.

Otros de los cambios que afectó la eficiencia de los disparos fue la llave de chispa. Es posible que la mayor cadencia de tiro haya estado en cierta medida favorecida por la introducción de este artilugio, pero su importancia tampoco debe sobrevalorarse. Este nuevo mecanismo de disparo comenzó a ser utilizado en cañones británicos hacia el último cuarto del siglo XVIII, aunque ya algunos cañones del *Invencible* (1758) habrían estado equipados con este artilugio. En el caso de las armadas de Francia y España cobró difusión recién a partir de principios de la siguiente centuria. Pese a las ventajas que supuso este novedoso sistema —que no era más que una suerte de adaptación del empleado en las armas de fuego de mano— y a su bajo coste, el uso de botafuego permaneció vigente durante algunos años. La llave de chispa también se utilizó en piezas anticuadas, dada la posibilidad de acoplar fácilmente este mecanismo a los cañones que se encontraban en servicio.

Además de los cañones, discurrimos sobre las distintas municiones empleadas. Mencionamos que los cañones disparaban una variada clase de proyectiles (balas rasas, metralla, palanquetas, bombas, etc.), con arreglo a los efectos que se buscaba conseguir. Mencionamos las prácticas usuales de cada armada y analizamos las particularidades de cada munición, según su función y procedencia. El ámbito de la producción nos resultó de especial interés, sobre todo con respecto a la calidad de la fundición utilizada en las balas esféricas, rasas y de metralla. En líneas generales, la obtención de las municiones no demandaba el mismo nivel de cuidado que lo cañones, aunque vimos que los defectos asociados a las balas rasas (e.g. poros) también afectaron su eficacia, puntualmente su dirección durante el vuelo. La fundición empleada en los cañones, debido a sus cualidades, era del tipo gris (carbono en estado primario o grafito). En el caso de las balas, en cambio, por lo general se utilizó un material de menor calidad obtenido durante las primeras coladas de los altos hornos (cuando se vaciaban con hierro de primera fusión).¹⁴

¹⁴ La instalación de hornos de reverbero en Francia y España —siguiendo el modelo británico— durante la última parte del siglo XVIII permitió reutilizar chatarra (e.g. cañones fallados) para fundir balerío y otros objetos.

Por tal razón, es esperable que el material de las municiones sea más heterogéneo que el de las piezas de artillería.

Las balas de fundición gris suponían una doble ventaja frente a las de fundición blanca (carbono en forma de cementita). En el caso de los cañones, debemos señalar, su relevancia fue de primer orden. Primero, el riesgo de fractura era menor, debido a la mayor tenacidad del material. Por tal motivo, también podía emplearse una carga explosiva mayor. Segundo, eran entre un 5 y 10 % más livianas, conforme al contenido de carbono en la aleación. En grandes volúmenes, esto podía llegar a significar una contribución para con la ligereza del barco. Los maestros fundidores estaban al corriente de ambas cualidades y es probable que supieran que si utilizaban balas de fundición gris, podían emplear una mayor carga de pólvora y contribuir de ese modo a aligerar el peso de los barcos. La posibilidad de obtener este tipo de balas dependía de múltiples factores, principalmente de las características del hierro colado y del procedimiento de moldeo de cada proyectil. En función de lo anterior, se ha postulado que la tendencia general en cuanto al balerío producido entre los siglos XVII y XIX fue el creciente uso de la fundición gris (e.g. Bethencourt et al. 2013).¹⁵ Si bien puede reconocerse un cambio en este sentido al comparar objetos de diferentes momentos, procedentes de naufragios y otras colecciones, la dinámica distó mucho de ser regular, i.e. no debemos pensar en una progresión lineal.

La evidencia analizada en esta investigación ilustra la complejidad del asunto. El caso más sugerente es el del cargamento de municiones del sitio Deltebre I (1813). Las balas rasas y de metralla halladas en este naufragio presentan microestructuras disímiles (véase el anexo 10, para una descripción pormenorizada). La heterogeneidad de los materiales puede incluso apreciarse si se comparan entre sí balas de similar tipo y tamaño. Junto con los ejemplares de fundición gris perlítica con esteadita encontramos otros que poseen una estructura de cementita, perlita y cierto contenido de esteadita, hasta ahora en un número aproximadamente equilibrado. Pese a que las cualidades de la fundición gris eran conocidas y bien apreciadas, la variabilidad que exhiben las muestras estudiadas indica que a principios del siglo XIX la situación todavía no se había definido por completo a

¹⁵ Existen otros artículos que contienen información analítica sobre municiones de hierro del siglo XIX (e.g. Caporaso et al. 2008; Setián y Díez-Aja 2008).

favor de la utilización generalizada de la fundición gris. Sobre la base de la información recabada, podemos afirmar que la fabricación de balas rasas y de metralla con este material estuvo restringida por varios factores. En cuanto a los aspectos técnicos inmediatos, podemos asumir que existieron ciertas discrepancias asociadas a los diferentes métodos de manufactura (e.g. empleo de moldes de arena o de hierro y un escaso control de la velocidad de enfriamiento durante la colada). Aun suponiendo que en ciertas usinas hubo una creciente rigurosidad con respecto al proceso de manufactura, existieron otros elementos relacionados con la tecnología disponible que postergaron la posibilidad de producir de forma extensiva el balerío de fundición gris.

Con respecto a lo anterior, los altos hornos tuvieron un rol decisivo. Inicialmente, estuvieron alimentados con carbón de leña, funcionaron a temperaturas relativamente bajas y generaron escorias principalmente ácidas. En el transcurso del siglo XVIII, algunas mejoras tales como la introducción del coque (primero y sobre todo en Gran Bretaña), el incremento de tamaño de los hornos y el uso de sistemas de insuflado de aire más eficientes, permitieron alcanzar temperaturas cada vez más altas y propiciaron la obtención de escorias más básicas. Estas condiciones permitieron que durante la reducción del mineral se disolviera una mayor cantidad de silicio en la aleación. En consecuencia, de ordinario pudo obtenerse un producto susceptible de resultar en fundición gris. Lo dicho anteriormente pone de manifiesto un simple hecho que en varias ocasiones supuso una limitación a las aspiraciones de los fabricantes: muchas innovaciones se convirtieron en factores que propiciaron el desarrollo de otros cambios; o lo que es igual, la posibilidad de llevar a la práctica ciertas ideas estuvo supeditada a la existencia de condiciones técnicas adecuadas.

Resumiendo, los cambios suscitados en aquella época no afectaron por igual a los componentes de metal de los barcos, ni lo hicieron al mismo ritmo en diferentes lugares. La mayoría de estos estuvieron precedidos por prolongadas experimentaciones y más de una vez fueron resistidos. Una vez demostrada su eficacia y en el marco de condiciones favorables, fueron aceptados y se extendieron más o menos rápido al grueso de la flota. Estas transformaciones dependieron muchas veces de avances en rubros anejos (e.g. en metalurgia) y, a la vez, tuvieron repercusiones de variada índole sobre otros. A nivel conceptual,

muchos de los cambios no fueron radicales, sino que se basaron en modelos y preceptos básicos de larga data. Puede notarse una búsqueda por mejorar la calidad y eficiencia de los materiales utilizados, de cara a desafíos puntuales durante la coyuntura de expansión global y competencia entre las potencias citadas.

INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN EL ÁMBITO NAVAL MODERNO

Supremacía marítima y avances técnicos

Mucha tinta se ha consagrado a exponer la relevancia que tuvieron los buques de guerra en el devenir de las potencias europeas. Torrejón Chaves sintetizó esta situación de modo cabal cuando afirmó: “Velas y cañones fueron elementos decisivos en la consolidación de los Estados modernos europeos” (Torrejón Chaves 1997:293). En un contexto que estuvo marcado por intensos y reiterados conflictos a la par de un notorio crecimiento industrial, la tecnología bélica ocupó un espacio preeminente en las agendas políticas centradas en alcanzar una posición hegemónica. En el caso de las armadas, pormenores aparte, cada una buscó disponer de una flota poderosa que fuera capaz de contener o —particularmente en el caso de Gran Bretaña— destruir a la del enemigo. Para ello, una porción importante de las arcas estatales se destinó a la construcción naval y a los medios necesarios para mejorar la operatividad y poder de fuego de los barcos.

En ciertos momentos de la historia naval moderna, los cambios tecnológicos en torno a estos últimos aspectos permitieron a políticos y comandantes al mando de las escuadras planificar y aplicar estrategias y tácticas de combate novedosas. En ocasiones, algunos depositaron su confianza en las nuevas tecnologías y elaboraron sus planes en concordancia con las ventajas que estas suponían. A comienzos del siglo xx, el Almirante británico Sir John Fisher, Primer Lord del Mar (*First Sea Lord*) depositó sus esperanzas para salvar la desventaja estratégica que suponía la ubicación de Gran Bretaña en las nuevas tecnologías: los cruceros de batalla (*battle*

cruisers)¹⁶ y los submarinos. Por entonces, sobre la base del accionar histórico de la Real Armada británica, Alfred Mahan había enfatizado en la necesidad de contar con la flota principal en cercanías de la metrópoli para poder hacer frente a una coalición continental con una fuerza naval semejante o superior a la propia (i.e. principio de concentración de la fuerza). Fisher, en cambio, confiaba en la posibilidad de defender a las Islas británicas de una posible invasión y resguardar al mismo tiempo las posesiones de ultramar del imperio destinando los cruceros de batalla a los diferentes teatros de operaciones de ultramar y los submarinos a las aguas locales. Este plan representaba una inversión del principio estratégico de Mahan. Aunque finalmente la propuesta de Fisher no pudo concretarse, brinda una idea del rol que llegaron a ocupar las nuevas tecnologías en la planificación estratégica de quien fue la principal potencia marítima (véase Sumida 2006).

Los cambios tecnológicos ocurridos entre mediados del siglo XVIII y principios del siglo XIX no pueden ser considerados de semejante magnitud. Antes bien, las razones del predominio o superioridad de un estado sobre el resto deberían buscarse en las tácticas empleadas, cantidad de buques y cañones, la preparación de las tripulaciones, las facilidades infraestructurales, etc.¹⁷ En el caso de los buques de guerra de la época que nos ocupa, en particular los navíos de línea, hemos visto que las innovaciones en la mayoría de sus aspectos fundamentales no representan una solución de continuidad con respecto a la tecnología de momentos previos. Podemos afirmar, en líneas generales, que ninguno de los cambios implementados por las armadas en materia de construcción naval y armamento para mejorar el desempeño de sus barcos supuso por sí solo una ventaja importante, ya no decisiva, sobre el contrario.

¹⁶ Buques que combinaban el poder de fuego de los acorazados (*battleships*) y la velocidad típica de los cruceros (*cruisers*).

¹⁷ No podemos dejar de prestar atención a cuestiones menos tangibles, pero igual o más importantes, que las referidas. Por caso, Aller analizó la estructura de las reglas vigentes en las armadas de la época de la vela, y resaltó que las empleadas por los británicos proveían a sus miembros de mejores incentivos para el combate. Una de las Instrucciones de Navegación y Combate era ganar el barlovento frente a un enemigo. Esta posición era netamente ofensiva (aseguraba el combate) y, por ende, prevenía que los comandantes eludieran el encuentro y promovía un desempeño eficiente de la tripulación. Más aún, uno de los Artículos de Guerra estipulaba que el deber de los comandantes era entablar combate en caso de avistar un barco enemigo, en ocasiones so pena de muerte. Por ello, en la práctica, estaban motivados para formar un grupo de hombres bien preparados (véase Allen 2002).

En este punto quisiéramos notar que muchos ingenios que vieron la luz décadas más tarde, tales como los buques propulsados por máquinas de vapor, los submarinos, los cañones de retrocarga y los cohetes, fueron diseñados durante aquel período. Algunos fueron además desarrollados y probados con cierto éxito. Los cohetes de Congreve, por citar un caso, se aplicaron ocasionalmente en combate, pero el resto permaneció en una instancia programática o de experimentación. Al respecto, la navegación subacuática supuso un extenso período de ensayos —entre los primeros submarinos y aquellos que se emplearon regularmente en batalla— y el aporte de numerosos técnicos, artesanos y operarios de diversa nacionalidad.¹⁸

La tecnología naval como sistema complejo

La dinámica de los cambios técnicos ocurridos en el ámbito naval, puede decirse con seguridad, dependió de una conjunción de factores. Dotar a los barcos de unas capacidades marineras y un poder de fuego que fueran adecuados para prevalecer por encima de otros, constituyó una exigencia a la que se abocaron las potencias de la época. No obstante, esta premisa ampliamente reconocida, al amparo de la que se encuentra la mayor parte de los cambios que expusimos en este estudio, cobró diferentes formas. Interesa reflexionar en torno a las razones que condujeron al escenario variopinto que hemos presentado. Dejamos entrever más de una vez que, para encontrar una respuesta, será necesario realizar un ejercicio en el que debemos contemplar una multiplicidad de relaciones entre aspectos de diversa índole. Esta perspectiva acerca de la conformación de la realidad abreva en la noción de sistemas complejos.

Gran Bretaña tuvo siempre sus raíces en el mar; Francia, en cambio, aunque llegó a alcanzar un poderío naval importante durante parte del siglo XVIII, se volcó históricamente al continente y cuando tornó su mirada hacia las aguas lo hizo,

¹⁸ Si bien desde comienzos del siglo XIX se realizaron intentos de navegación bajo el agua, fue necesario la resolución de un conjunto de aspectos técnicos de los que dependía la operatividad de los submarinos. Estas máquinas representaban un reto debido a los inconvenientes que suscitaba la respiración de los tripulantes, el sistema de propulsión, las maniobras de inmersión-emersión y la estabilidad y gobierno de la nave debajo del agua (Nieto-Galan 2001:65).

sobre todo, por intereses comerciales. España, sin descuidar el territorio interior, cimentó parte importante de su historia sobre las actividades vinculadas a la navegación. Los tres, en mayor o menor medida, tuvieron aspiraciones ultramarinas. La idiosincrasia de una nación —aunque mejor sería hablar de idiosincrasias— es sin duda producto de su historia y a la vez componente relevante de su devenir. En este sentido, la relación establecida por cada una con cierto ámbito en un momento determinado, hunde sus raíces en el pasado. No cabe duda que la vocación y el carácter de la gente para con los asuntos navales debió tener implicaciones sobre una multiplicidad de cuestiones, tales como las políticas económicas del Estado, los conocimientos en construcción naval y la experiencia cotidiana en marinería. Trazar los vínculos precisos entre aquella y este tipo de cuestiones está fuera de nuestro alcance. No por ello deben desestimarse estas relaciones, pues las actividades dentro de este y otros ámbitos han estado continuamente atravesadas por —simultáneamente, le fueron imprimiendo un sello particular a— la idiosincrasia de las personas. Al respecto, vale la pena recordar que un aspecto central de la estrategia fue la dimensión social, sobre todo en una época en la que la guerra fue considerada una forma aceptable, e incluso inevitable, para dirimir las diferencias políticas internacionales.¹⁹

Si existió una tendencia reconocible a lo largo del período de estudio, puede decirse que fue el conflicto entre un puñado de estados europeos que se abocaron con ímpetu a extender el control de los mares y mercados, dentro del continente y allende sus fronteras. Cualquiera haya sido la fuerza motriz de la expansión (e.g. la exportación de productos manufacturados y obtención de materias primas, por citar sólo dos asuntos de carácter económico) los barcos fueron el principal instrumento para concretar aquel cometido. Por ello, en aras de alcanzar una posición preeminente, el poder de las fuerzas navales cumplió un rol destacado. A fin de cuentas, los británicos tuvieron éxito. No obstante, este desenlace no indica la probabilidad *ex ante* de que triunfara. En el proceso, su camino se cruzó reiteradas veces con los de Francia y España. Conscientes del lugar que ocupaban las flotas, los responsables de su suerte se dedicaron a fortalecerlas cada vez que pudieron. Para ello, en lo que a los barcos respecta, debieron aumentar el número

¹⁹ Véase la obra de Howard (1987), en particular el capítulo titulado ‘Las dimensiones olvidadas de la estrategia’.

de naves, mejorar sus prestaciones marineras, artillarlas adecuadamente y tripularlas con marinos capacitados. Así, unos y otros realizaron múltiples innovaciones. Las situaciones, ya vimos, fueron dispares y estuvieron sujetas a no pocos vaivenes.

Los factores detrás de esta dinámica fueron diversos. Habida cuenta de la situación general enunciada, a continuación intentaremos delinear los aspectos que tuvieron cierta relevancia con respecto a varios cambios tecnológicos ocurridos dentro de la esfera naval y asimismo esbozar los principales vínculos que los imbricaron. Aspiramos, lejos de cualquier posición monista, echar luz sobre los factores intervinientes en la dinámica del sistema.

La decisión política y la administración de las arcas estatales definieron el éxito o fracaso de estos proyectos en varias oportunidades. En su *Diálogo sobre el poder y el acceso al poderoso*, Carl Schmitt sostuvo que el Estado moderno:

“...fue la primera máquina moderna, así como la condición previa concreta de todas las máquinas tecnológicas posteriores. Fue la máquina de las máquinas, la *machina machinarum*, un superhombre hecho de hombres, que se materializa a través del consenso humano y que, no obstante, una vez que está allí, supera todo consenso humano” (Schmitt 2010:49).

Resulta indudable que los británicos dedicaron ingentes esfuerzos a lo largo del siglo XVIII para contar con la flota más poderosa de su tiempo. En materia de construcción naval, los conocimientos especializados, teóricos y prácticos fueron de vital importancia y, por ello, tan codiciados. Los desafíos que presentaban las estrategias adoptadas por cada Estado, en especial frente a un contendiente (e.g. neutralizar o derrotar a las flotas enemigas, bloquear las rutas comerciales, asistir a los ejércitos en tierra, etc.), amén de los condicionamientos propios de los mares en que operaban los barcos, marcaron el devenir de las fuerzas navales.

Dentro de este contexto, algunos de los mecanismos que influyeron sobre la mejora de las naves y que redundaron en diversas innovaciones fueron: la exploración de diseños y métodos de construcción vanguardistas; la realización de experimentaciones; el uso de conocimientos procedentes del ámbito académico en

provecho de la industria; la integración de avances técnicos que tuvieron lugar en otros rubros industriales; la creciente especialización artesanal, así como la regulación y el control de las características de los materiales, procesos de fabricación y productos. La confluencia de estos factores fue promovida especialmente por personajes que muchas veces ocuparon una posición intermedia entre la academia y la industria, que conocían los pormenores de ambos campos y eran conscientes de las ventajas que su articulación suponía. Gran parte de las innovaciones técnicas vieron la luz como resultado de una serie de mejoras de modelos previos; otras, aunque menos cuantiosas, ocurrieron en parte gracias a la integración de la práctica artesanal con algunos conocimientos científicos específicos.

El conflicto, por su parte, no afectó de igual modo a las diferentes ramas de la industria. Mientras que algunas se beneficiaron, otras se vieron afectadas negativamente, sobre todo durante las guerras, cuando muchos de los capitales disponibles fueron absorbidos por las actividades bélicas. Así, la producción en algunos rubros importantes (e.g. las fundiciones de cañones y las minas de cobre) se vio acrecentada notablemente en pocos años. El Estado fue el factor individual más importante con relación al auge de la industria naval y metalúrgica, al menos hasta 1815. En el caso de Inglaterra, más que en cualquier otro, las peticiones oficiales de materias primas y productos elaborados (en este caso, para las flotas) fueron respondidas por industriales privados que tenían contratos con el gobierno. Muchas veces, estos fueron los organizadores y beneficiarios más directos de los cambios. Aprovechando los momentos favorables (ventanas de oportunidad), reconocidos empresarios dedicaron tiempo y dinero a desarrollar nuevos métodos que posibilitaran dar respuesta a la vasta, aunque discontinua, demanda. Y aunque es posible que el florecimiento de las innovaciones haya estado asociado especialmente a momentos de paz, no es menos cierto que el conflicto motivó en parte las experimentaciones que finalmente condujeron a ellas.²⁰ De cualquier modo, muchas invenciones tardaron un largo tiempo en introducirse de forma

²⁰ Esta afirmación vale en principio únicamente para el caso de las industrias estrechamente relacionadas con los barcos de guerra (i.e. tecnología bélica), lo que por otro lado resulta bastante obvio. A excepción tal vez de las industrias que fueron favorecidas *a posteriori* por la apertura de nuevos mercados internacionales, otros rubros muchas veces se vieron directa o indirectamente perjudicados por los altos costes implicados en las guerras.

efectiva y generalizarse. Algunos ingenios trajeron aparejadas ventajas que repercutieron más allá del ámbito naval o bélico: la perforadora de cañones, que luego se aplicó a los cilindros de las máquinas de vapor, es un caso emblemático, pero no el único. Estas influencias laterales corrieron en varias direcciones y fueron posibles gracias a personas que articularon varios ámbitos de la producción.

Por otro lado, dada la trayectoria histórica y circunstancias internacionales, las políticas anticipatorias de los estados de cara a posibles enfrentamientos armados fueron de suma importancia. El estímulo de los programas de construcción durante años de relativa calma respondió a ello. Los criterios de simplicidad y bajo coste de las innovaciones, pese a que fueron relevantes, no siempre prevalecieron al momento de evaluar su aceptación. Cobra notoriedad aquí la cuestión de las ventajas que ciertas invenciones (e.g. el aforro de cobre) supusieron a nivel operativo de cara a las condiciones que debieron enfrentarse. En este sentido, el ámbito e intensidad de uso de los barcos fueron dos condicionantes que estuvieron relacionados con las múltiples actividades desarrolladas por las flotas.

En reiteradas ocasiones, las influencias extranjeras cumplieron un rol destacado y por ello el devenir de cada una de las armadas no puede entenderse exclusivamente en términos de su propia historia. Al respecto, los botines obtenidos de un combate —Gran Bretaña fue privilegiada en este sentido— y el espionaje fueron dos medios corrientemente usados para acceder a los adelantos alcanzados por otros. Vimos algunos de los influjos del extranjero en torno al diseño y la construcción naval. Los avances logrados en materia de diseño por parte de los franceses durante la década de 1740 tuvieron un rol significativo en la construcción de los afamados barcos británicos de 74 cañones; en especial a partir de la captura del navío *Invincible* en 1745. Los métodos y técnicas de construcción de origen británico, por otro lado, resultaron un componente fundamental de la política de renovación de la flota española que llevó adelante el Marqués de la Ensenada, de la mano del prestigioso científico y marino Jorge Juan y Santacilia, hacia mediados del siglo XVIII. La lista de casos de menor envergadura es copiosa.²¹ La adaptación de las ideas foráneas conforme a las prácticas locales no fue un proceso sencillo. Los ojos se posaron selectivamente, en función de los campos en

²¹ Recomendamos consultar los trabajos ya referidos que versan sobre esta temática (e.g. Bingeman 1998; Fuente 2005; Ferreiro 2007).

los que el otro sobresalía. En función de los requerimientos que cada situación impuso (e.g. el propósito del barco), de los conceptos y prácticas vigentes con respecto al diseño y la construcción, e incluso a los criterios de cada armador, las copias consistieron en un acondicionamiento de los recursos tomados como modelo. Estos fueron estudiados en detalle y se reprodujeron localmente. Puede decirse que resultaron en un sincretismo de aspectos propios y foráneos.

Es notoria la cantidad de avances alcanzados por los británicos en materia de artificios mecánicos que, luego de cierto tiempo, fueron incorporados por los otros dos estados continentales. La adquisición directa de maquinaria, sobre todo desde Gran Bretaña, favoreció a las industrias de estos últimos, aunque por momentos estuvo restringida. Por otro lado, toda nueva inversión supuso un desafío doble para Francia y España, que también debían atender a sus ejércitos. En el caso de los adelantos útiles aquí considerados, más allá de la extensión que alcanzaron, podemos afirmar que los galos siguieron de cerca de los británicos. Y estos le correspondieron, sobre todo en materia de diseño naval.²² La aceptación y generalización de las innovaciones mostró ritmos dispares, según el caso, e incluso al interior de un mismo país.

El conservadurismo y escaso dinamismo vigente en ciertos sectores del ámbito naval en ocasiones retrasó la adopción de mejoras o, cuando menos, llevó a que se aplicaran soluciones técnicas intermedias, que combinaban rasgos previos y novedosos (e.g. empleo simultáneo de aforro metálico y de sacrificio). Experiencias poco satisfactorias también llevaron a que se rechazara o postergara la introducción de algunas invenciones (e.g. en España, la máquina para perforar cañones de hierro). Lo dicho hasta ahora pone en evidencia que si algo caracterizó a las armadas, aunque contaban con la tecnología de punta de la época, no fue una tendencia automática hacia la innovación.

²² La situación de desfasaje que existió en otros campos de la industria en que Gran Bretaña aventajó al resto (e.g. construcción de maquinaria para la explotación minera y la producción textil), fue diferente (Landes 1994:649,652).

Últimas reflexiones en torno a los factores de cambio

Entre la multiplicidad de factores que incidieron en la industria naval, como dejamos entrever, el conflicto y la ciencia propiciaron varias de las innovaciones técnicas de los barcos de madera. En algunos casos, los vínculos fueron estrechos y directos, por lo que pueden reconocerse fácilmente. A lo largo de la tesis expusimos cómo las potencias europeas implementaron diferentes políticas de fortalecimiento de sus armadas (e.g. mediante programas acelerados de construcción naval, desarrollo de mejoras, adquisición de nuevos conocimientos, etc.) de cara a equiparar o superar a sus enemigos o potenciales contendientes. La unidad comparativa en materia naval en la época considerada fue Gran Bretaña, que ya en el siglo xvii había obtenido un poder naval de primer nivel.

Dijimos que una de las claves para analizar la relación entre el conflicto y las innovaciones es no establecer una rígida distinción entre momentos de guerra y de paz, sobre todo en un período que estuvo caracterizado por reiteradas conflagraciones entre los estados europeos. Basta con citar la Guerra de los Siete Años (1756-1763), la Guerra de la Independencia Norteamericana (1778-1783), las Guerras Revolucionarias Francesas (1792-1802) y las Guerras Napoleónicas (1803-1815) y el alcance que tuvieron dentro y más allá de Europa, para darnos cuenta de que el conflicto fue transversal a todo este tiempo. Dichas guerras, también vimos, estuvieron fuertemente relacionadas con las estrategias de expansión territorial y/o comercial de los actores intervinientes. Las políticas adoptadas en aquel entonces con relación a las armadas deben ser vistas más como un *continuum* que como sucesiones inconexas de momentos de expansión y contracción.

Ciertamente, buena parte de las invenciones en torno a la industria metalúrgica y naval fueron implementadas durante momentos de paz. Entre las más relevantes dentro del ámbito británico, algunas de las cuales tuvieron implicancias que trascienden la industria naval o militar,²³ podemos citar el aforro de cobre (las

²³ Los conocimientos y procedimientos técnicos que eran típicos de ciertas industrias, en ocasiones, podían ser transferidos a otros ámbitos (prefiguraron cambios subsecuentes). Esta especie de carácter putativo no siempre es fácilmente apreciable. Es posible establecer un vínculo entre las técnicas empleadas para la fundición de cañones y aquellas desarrolladas mucho tiempo antes para la producción de campanas, estatuas y utensilios domésticos (Nef 1942:16). La relación puede ser mucho más sutil, como en el caso de las investigaciones sobre la transmisión del calor que efectuó

primeras experimentaciones, dado que el programa de forrado de la flota británica ocurrió en plena guerra con los Estados Unidos de Norteamérica), el barrenado de cañones *en sólido* (con la máquina de Wilkinson, ya que en Francia este sistema data de mediados del siglo XVIII), el uso del coque como combustible y la producción de hierro pudelado, la utilización de pernos de cobre fabricados por medio de rodillos y el reemplazo de las anclas con cepo de madera por las de cepo de hierro y cable de cadena. Otras innovaciones de carácter estrictamente bélico, en cambio, fueron probadas y se adoptaron en tiempos de guerra (e.g. las carronadas y las llaves de chispa para los cañones, entre fines de la década de 1770 y los primeros años de la siguiente).

De cualquier forma, todas y cada una de estas transformaciones hundían más o menos sus raíces en conceptos, propuestas y experiencias que databan de años, e incluso décadas atrás. Recordemos, por caso, que los primeros intentos por emplear el revestimiento de cobre en los barcos de la armada se remontan a comienzos de la centuria (sin contar los antecedentes del aforro de plomo) y la idea de utilizar cañones más cortos, que finalmente condujo a la fundición de las primeras carronadas, fue mérito de Benjamin Robins, que estudió profundamente el tema durante los primeros años de 1740. Las circunstancias que llevaron a que estos se concretaran en un momento en particular y no antes, en muchos casos tuvieron que ver menos con un reconocimiento de sus ventajas que con condiciones favorables que aún no se habían presentado. Estas últimas fueron de diverso orden: económicas, políticas, técnicas, entre las principales. Ya vimos, en torno a la artillería, el caso de la fundición para el balerío.

Algunos de estos cambios suponían gastos muy superiores a los habituales, por lo que la inversión se justificó cuando las ventajas que llevaban aparejados fueron primordiales para la consecución de los objetivos propuestos. También hubo otras razones que dan cuenta, al menos en parte, el retraso en la adopción de ciertos ingenios y materiales que a la postre resultaron ser de gran valía. El conservadurismo propio de ciertos sectores dentro de la armada, intereses gremiales, diferencias de opinión entre los especialistas con respecto a las prestaciones técnicas, etc., tuvieron su peso en este sentido. La variabilidad que

el norteamericano Benjamin Thompson, Conde de Rumford, que tiempo antes había observado este fenómeno durante el barrenado de los cañones (Babini 1971:80).

presentan las aleaciones de los elementos de sujeción estructurales puede estar relacionada con una o varias de estas razones.

Volviendo a la cuestión del conflicto, si tenemos en cuenta el propósito que dio asidero a tales invenciones —desde el mismo momento en que fueron diseñados, haciendo caso omiso al momento preciso en que fueron implementadas— así como la fluida relación que mantuvieron muchos de los industriales con el ámbito de la armada, sus implicaciones son aún más patentes. En cuanto a las influencias de la tecnología naval sobre la industria civil, hemos visto algunos casos que dan cuenta de la transferencia de un ámbito al otro. El ejemplo más notorio, si consideramos el impacto que tuvo, fue probablemente el del aforro de cobre. Sin embargo, no podemos dejar de notar que en buena parte los avances también fueron en el sentido contrario.

A la hora de analizar las invenciones, proponemos que es en el contexto de generación y experimentación de las ideas adonde muchas veces puede apreciarse la relación con el conflicto, e.g. como parte de una estrategia de anticipación frente a futuros enfrentamientos, incluso más que en la instancia de aplicación propiamente dicha (innovación), en la que por lo general entran en juego otros aspectos anejos y/o exteriores a la novedad en cuestión. En relación a esto último, la planificación para la guerra parece haber influido más sobre el contexto de ideación y proyección (o descubrimiento) que en instancias ulteriores. Debe resaltarse que tanto políticos como industriales, sobre todo franceses, encontraron en tiempos de paz las condiciones propicias para viajar y hacerse de algunos de los conocimientos e ingenios de quien había sido —y que en varias ocasiones volvería a ser— su enemigo. Las lecciones de la guerra fueron diversas, pero en muchos casos redundaron en un renovado interés por el poder naval y su bienestar, en especial de la mano de los mitos triunfalistas. El estallido de un nuevo conflicto armado, por su parte, por lo general llevó simplemente a un incentivo de ciertos rubros de la industria naval y afines, adonde se produjeron aquellos recursos que ya habían sido probados y aceptados de antemano. Y en el caso de los británicos, este escenario fue la oportunidad para hacerse de los adelantos técnicos de otros por medio de la obtención de presas.

Diremos que parte del mérito o demérito de la guerra con relación a las innovaciones debe ser considerado también en relación a los diferentes métodos —con arreglo a los medios disponibles—²⁴ seguidos para la adquisición de la información y demás recursos que muchas veces constituyeron el basamento de aquellas. Las estrategias de cada armada no fueron similares, sino que respondieron a desafíos y escenarios concretos de cara a lograr sus propias metas; en consecuencia, podemos identificar diversas soluciones técnicas.

La articulación entre la industria y la ciencia, comentamos, no adquirió la dinámica que hoy consideramos habitual sino hasta mucho tiempo después. También es cierto que los rubros que cambiaron la economía de los estados europeos durante las primeras instancias de su industrialización poco debieron a los conocimientos generados en el terreno de las ciencias. Pero incurriríamos en una subvaloración al asumir que las innovaciones que dieron forma a múltiples sectores de la industria —directa o indirectamente— de estos países fueron simplemente el resultado de un proceso iterativo de ‘prueba y error’. De hecho, podemos reconocer de modo extensivo tres aspectos fundamentales típicos de la labor investigativa de los científicos (desde el siglo xvii) que se convirtieron en el sustento de muchas de las invenciones del siglo xviii: la observación sistemática, la experimentación controlada y la ordenación de la información. Mokyr (2002) expuso esta situación y se refirió a ella con el nombre de ‘Iluminismo Industrial’ (*Industrial Enlightenment*).

Los casos que hemos expuesto en esta tesis dan cuenta de los múltiples esfuerzos llevados a cabo en este sentido por un grupo de personas que buscó introducir diversas mejoras en el ámbito naval. El panorama, ya vimos, no estuvo exento de escollos. Difícilmente encontremos un ingenio al que, aun adoleciendo de la falta de un extenso y promisorio historial, se le haya prestado seria atención. Debemos tener presente que cualquier cambio en torno a los componentes centrales de un barco, i.e. los relacionados directamente con su operatividad, suponía en potencia un riesgo elevado. La razón era simple: en el mar, las fallas técnicas —amén de las humanas, que no fueron pocas en el manejo de tecnologías

²⁴ Ferreiro destacó que los británicos fueron los únicos que se valieron sistemáticamente de la práctica de apresar barcos enemigos y examinarlos en detalle, con miras a aplicarle ‘ingeniería inversa’ y copiar sus rasgos sobresalientes. Ello fue posible gracias a que contaron, más que ningún otro, con la infraestructura y el tiempo necesarios (Ferreiro 2007:22).

desconocidas— podían tener consecuencias desastrosas para los barcos y, por extensión, las actividades en las que estaban involucrados (e.g. Kieran 2004). En este sentido, el ambiente fue un condicionante importante; de allí el escaso dinamismo que suelen mostrar las tradiciones navales.²⁵ Pero esto no significa que aquellos elementos estuvieron desafectados de los numerosos cambios de orden social, económico, político, etc. El respaldo que las novedades encontraron en la dinámica de observación, experimentación y síntesis de la información que giró en rededor de las artes mecánicas, contribuyó en muchos casos a despejar toda duda sobre su utilidad y sirvió de contrapeso al conservadurismo que encontraron quienes se abocaron a su desarrollo. Así pues, se allanó la paradoja a la que hizo referencia Adams cuando definió al ámbito naval como aquel escenario signado por la interacción de dos elementos en permanente tensión: las prácticas ‘tradicionales’ y las manifestaciones vanguardistas de la sociedad (Adams 2001:302).

Muchos de los hombres que en aquel contexto destacaron por sus adelantos tuvieron un fuerte espíritu práctico, contaron con una formación técnica, estuvieron versados en muchas artes y relacionados con representantes del entorno académico, pero simultáneamente se apoyaron en la holgada experiencia de los artesanos. Esto último fue esencial en lo que respecta a la producción metalúrgica. En las usinas, el conocimiento y manejo de las variables involucradas en operaciones complejas tales como la fundición de cañones y la forja de anclas, dependieron estrechamente del aprendizaje basado en la práctica y transmisión oral de la información. La centralización de los trabajos y el mayor control al interior de este tipo de establecimientos llevó a una creciente normalización de los procedimientos, que por lo general se vio reflejada en la regularidad de la producción. No obstante, esa observancia en torno a las características técnicas de los elementos estudiados, expresada en las enciclopedias, tratados y ordenanzas navales que vieron la luz a lo largo del siglo XVIII, en cada lugar estuvo intermediada por cierta flexibilidad, conforme a la diversidad de criterios y decisiones de esos fabricantes.

²⁵ En el contexto de la construcción naval, entendemos por tradición a una clase de comportamiento repetitivo (Westerdahl 1994:267). Refiere a una forma típica de hacer las cosas, basada en la reproducción de experiencias de probada efectividad. En consecuencia, los elementos que han probado ser de utilidad logran persistir a lo largo del tiempo (McCarthy 2005:46).

Los cambios que tuvieron lugar en torno a la industria naval y en otras ramas asociadas a esta —en definitiva, a un número importante de rubros relacionados con la economía de los países en proceso de industrialización— no fueron obra de méritos individuales, aun cuando los nombres que figuran en los registros de patentes parezcan atestiguar lo contrario. No cabe duda que ciertas personas que orientaron sus conocimientos a los fines prácticos (e.g. los *iron-master* británicos) tuvieron un rol destacado, pero los resultados obtenidos fueron el producto de un esfuerzo social de carácter acumulativo, que por lo general aunó diversos saberes y habilidades técnicas. El prolífico trabajo de ingenieros y técnicos durante los siglos XVI y XVII en rubros tales como la navegación, la metalurgia y la artillería, da cuenta de la relevancia con que cobraron las artes mecánicas. De hecho, siguiendo a Paolo Rossi podemos afirmar que la bibliografía generada en aquel tiempo contribuyó fuertemente a la vinculación entre los saberes técnicos y el conocimiento científico.

El sentido de la influencia que marcamos más arriba encuentra en su trabajo un nuevo sentido: es probable que el desplazamiento que sufrió el conocimiento meramente contemplativo y apriorístico por aquel fundado en el método experimental deba mucho a aquellas artes basadas en la observación, alteración y transformación de la naturaleza (véase Rossi 1966). Más allá de esta sugerente afirmación sobre los efectos de las artes mecánicas sobre el pensamiento científico moderno, los casos que presentamos no dejan sombra de duda sobre la importancia que tuvieron la observación, la experimentación y la síntesis de conocimientos y prácticas para los avances logrados en materia de tecnología naval durante los comienzos de la industrialización.

Esperamos haber expuesto el lugar que ocuparon las armadas de las potencias europeas durante este período de intensos conflictos y profundas transformaciones, así como el modo en que algunas de estas afectaron a los principales componentes de metal de los barcos de guerra. En este sentido, la información incluida en esta tesis constituye al mismo tiempo un aporte al conocimiento de las aplicaciones de la metalurgia a la industria naval moderna y de la dinámica de innovación en torno a este ámbito. Los resultados alcanzados podrán ser de utilidad para futuros trabajos sobre la temática y, específicamente,

para una mejor contextualización y comprensión del registro arqueológico hallado en naufragios del período.

Confiamos que el panorama expuesto pueda ser reexaminado, corregido, ampliado y profundizado sobre la base de nuevas evidencias, otras líneas de análisis, y los aportes de diferentes especialistas. Consideramos que a partir de ulteriores estudios será posible establecer escalas de importancia relativas con respecto a los factores mencionados, que contribuyan a delimitar de forma precisa los aportes de cada uno. Un estudio más profundo y de orden cuantitativo sobre las patentes y los registros de los astilleros, entre otras fuentes documentales de interés, resultaría en un aporte significativo. Creemos también que la extensión de las coordenadas temporales y espaciales permitirá alcanzar una interpretación más acabada del tema, que se inscribe dentro de un proceso que trasciende las fronteras que definieron esta investigación. Mentas más lúcidas podrán sin duda obtener provecho de ello. Anhelamos, en definitiva, que las ideas aquí esbozadas puedan ser utilizadas por otros como nuevo punto de embarque.



ANEXOS



Anexo 1

GLOSARIO

Consideramos apropiado, dada la especificidad de muchos de los términos utilizados en la tesis, y más aún teniendo en cuenta el carácter no unívoco de algunos de estos, brindar un glosario básico para orientar al lector. Realizamos la selección de términos valiéndonos de diversas fuentes de información, que se adaptaron a los fines del caso. Preferimos, a fin de ganar en claridad, estructurar la información en dos listas, una de términos navales y otra de términos metalúrgicos.

En la primera lista, empleamos fundamentalmente el clásico *Diccionario Marítimo Español*, trabajo dirigido por T. O'Scanlan y supervisado por el historiador naval M. Fernández de Navarrete, que fue publicado en Madrid en el año 1831. Esta obra constituyó la primera recopilación exhaustiva de los vocablos castellanos relacionados con la navegación, para la que se tuvieron en cuenta diversos trabajos anteriores en lenguas extranjeras. También utilizamos, entre otros escritos de la época, la obra de L. L. Moore, *The British mariner's vocabulary*, publicada en 1801.

En la segunda, adonde incluimos términos relacionados con materiales y procesos de manufactura, entre otros aspectos, optamos por usar varios glosarios especializados en la materia (e.g. D'Orio 1993; AA.VV. 2004b; Light 2007; Brack 2008) y normas internacionales de la American Society for Testing Materials (ASTM).

Todas las palabras que aparecen en versales están definidas en el glosario.

Términos navales

ABORDAR: choque de un barco con otro, atraco de uno a otro, o a un desembarcadero (en este último sentido, neutro, es tomar puerto o tierra). En situación de combate se refiere al momento en que la tripulación de una nave (abordadora) salta a la otra (abordada).

ACOLLADOR: cuerda que se pasa por los agujeros de las vigotas (especie de motón chato y esférico con tres agujeros), con el fin de poner tirantes las cuerdas de la JARCIA.

ACHIQUE: operación de extracción del agua de un barco por medio de las BOMBAS DE SENTINA, vertedores u otro medio disponible.

ALCÁZAR: sector de la CUBIERTA superior comprendido entre el palo mayor y la CÁMARA alta, en los barcos que la poseen, o hasta el coronamiento de la popa, en el resto.

ALIJAR: aligerar, aliviar la carga de un barco.

ALOTAR: arrizar, suspender y sujetar peso de considerable importancia a los costados de un barco, por fuera de este (e.g. las anclas).

APAREJO: el conjunto de JARCIAS, motonería y velamen de una embarcación. // Sistema multiplicador de fuerzas, compuesto por dos poleas (motones) y una cuerda que va dando vueltas alternativamente por las garruchas (cavidad entre la roldada y el canal formado por la unión de las cachas del motón). Cuando el APAREJO no tiene más de una garrucha (es el caso del motón simple), se le denomina sencillo; en el resto de los casos, se le llama doble. Según el número de vueltas que da la cuerda a través de las poleas, se lo designa de cuatro, seis, etc., cordones o guarnes, y toma asimismo un nombre particular, dependiendo del objeto y la forma en que se aplica.

APAREJAR: vestir a un barco de todos los palos, vergas, JARCIAS y velas, de modo que se encuentre apto para navegar.

APOSTADERO: puerto o bahía en que se reúnen varios barcos de guerra, bajo el comando de un jefe, para desempeñar las atenciones del servicio naval.

ARBOLADURA: conjunto de palos, vergas y masteleros de un barco.

ARGANEO: argolla de HIERRO engastada con libre giro en el extremo de la CAÑA del ancla, por donde se amarra el CABLE.

ARMADA: conjunto de todas las fuerzas de mar que dispone el Rey para la defensa de las costas, protección del comercio, etc. (también llamada escuadra o flota).
// Cualquier división de barcos de guerra, por más pequeña que sea.

ARMAMENTO: acción de armar un barco (equiparlo, apresarlo y proveerle de todo lo necesario para su funcionamiento). // La totalidad de las armas que lleva un barco a bordo.

ARMERO: oficial de mar encargado de custodiar y mantener en buenas condiciones las armas blancas y de fuego de un buque. // Estante o armario, fijo o móvil, donde se colocan dichas armas.

ARPEO: instrumento de HIERRO semejante al REZÓN, aunque en lugar de PALMAS posee garfios, utilizado para rastrear (sobre el lecho) o aferrarse a un barco durante el abordaje.

ARTILLERO: oficial de mar bajo la dirección del condestable, encargado de las actividades relacionadas con los cañones de un buque.

ASTILLERO: sitio ubicado en puertos, playas o rías, destinado a la construcción y carena de las naves.

ATACADOR: instrumento de madera o CABO, grueso y rígido, utilizado para atacar la carga (apretar el taco y, por consiguiente, la pólvora) de los cañones.

AYUSTAR: empalmar dos CABOS en sus extremos, por intermedio de nudos o costuras.

BANDA: cada uno de los costados del buque, considerado desde el plano vertical que divide longitudinalmente a la quilla, hasta el costado respectivo (de babor o estribor).

BATERÍA: espacio del interior de una nave que media entre dos CUBIERTAS y que, en el exterior, se cuenta por las respectivas filas de PORTAS practicadas en los costados de ambas BANDAS. // Fila de cañones de cada BATERÍA, en cada uno de los lados del barco.

BOMBAS DE SENTINA (también BOMBAS DE ACHIQUE): máquinas utilizadas para extraer el agua de la SENTINA de un barco (véase SENTINA).

BORDA: canto superior del costado de un barco.

BRAZO: con referencia al ancla, cada una de las dos partes que van desde la cruz hasta el pico de loro (extremo puntiagudo).

CABEZA: en las piezas estructurales, tales como el CODASTE, timón, varengas, ligazones, palos, etc., se refiere a su extremo superior; mientras que en los tablones y tablas, a cualquiera de sus dos extremos.

CABLE: CABO muy grueso, que se utiliza asido al ancla para fondear un barco. Toma el nombre del ancla a la que sirve, así como de la materia prima con la que está hecho. // Unidad de medida, equivalente a unas 100 brazas (ca. 182,9 m).

CABO: cualquiera de las cuerdas que se emplean a bordo de un barco.

CABRESTANTE: máquina de madera, en parte cilíndrica y en parte cónica, que gira sobre un eje vertical por intermedio de palancas que se aplican a su circunferencia en uno o más planos. Sirve para realizar grandes esfuerzos (e.g. LEVAR las anclas).

CALADO: cantidad de pies que se sumergen el CODASTE y la roda de un barco. Solía marcarse desde el canto inferior de la quilla hasta por encima de la línea de flotación.

CÁMARA: en su acepción más general, división que se hace a popa de los buques para el alojamiento del capitán y los oficiales. En el caso de estos últimos, las divisiones también se denominan camarotes.

CAÑA: en una de sus acepciones, parte del ancla que va desde la cruz hasta el ARGANEO (también se denomina asta).

CASTILLO: parte de la CUBIERTA superior, contada desde el COMBÉS hasta la roda. // ~
DE POPA: antiguo nombre dado a la TOLDILLA u otra CUBIERTA equivalente que sirve de techo a la CÁMARA alta o del ALCÁZAR, que se extiende desde el palo MESANA hasta el coronamiento de la popa.

CEPO: madero grueso que se sujeta al extremo de la CAÑA del ancla o anclote, debajo del ojo, en dirección perpendicular al eje de la CAÑA y al plano de los BRAZOS, que sirve para que aquel elemento se agarre al fondo.

CHILLERA: tabloncillo clavado de canto entre dos PORTAS de una BATERÍA, con excavaciones semiesféricas para colocar las balas rasas empleadas durante el combate. // Pequeño perímetro que se ubica en la CUBIERTA, entre cañón y cañón, para colocar algunas balas y metralla.

COBRAR: recoger la parte conveniente de un CABO que está en labor.

CODASTE: pieza recta y vertical ubicada en el extremo de popa de la quilla, con la que forma un ángulo más o menos obtuso, sobre la que se disponen las hembras del timón.

COMANDANTE: oficial patentado al mando de un buque de menos de veinte cañones (e.g. corbeta de guerra).

COMBÉS: espacio que media entre el palo mayor y el de TRINQUETE, en la CUBIERTA de la BATERÍA que está debajo del CASTILLO y el ALCÁZAR.

CORCHA O TAPABOCA: rodete de corcho o de madera con que se tapa la boca de un cañón, para evitar el ingreso del agua.

CORSARIO: buque armado en corso, con patente del Rey o del Gobierno, encomendado a la búsqueda y persecución de piratas y naves mercantes del enemigo. También se denomina de este modo al que manda semejante barco.

CRUJÍA: el medio de una CUBIERTA, desde popa a proa, y entre las cuerdas; aunque otros la consideran entre estas y las BATERÍAS.

CUADERNA: reunión de piezas curvas de madera (varenga, genoles, primeras, segundas, etc., ligazones y reverses), que nace desde la quilla, en la cual se encaja su base y desde donde se extiende (a derecha e izquierda) para formar el casco o cuerpo del barco.

CUBIERTA: cada uno de los entablados o pisos que unen los costados de un barco, por medio de los baos sobre los que están formados, y sirven de plataforma para sostener la artillería, alojar a la tripulación y la GUARNICIÓN. Las CUBIERTAS toman el título del lugar al que pertenecen (e.g. CUBIERTA alta, baja, primera o principal, segunda, tercera, etc., del CASTILLO y de la TOLDILLA).

EQUIPAMIENTO: apresto y avío de un buque con todo lo necesario para su navegación y operaciones militares.

ESLORA: longitud total de un barco.

ESPIAR: acción de tender un CABO y amarrarlo a un ancla o punto fijo, con el objeto de COBRARLO desde el barco y así avanzar de un punto a otro. Tanto al CABO como al ancla empleados se les denomina de espía.

FORRO: conjunto de tablonces con que se cubre el esqueleto de un barco, interior y exteriormente.

GUARDACABO: anillo de HIERRO o de madera acanalado en su circunferencia exterior, a la cual se ajusta un CABO, que sirve para que pase otro por dentro sin rozarse, o bien para enganchar un APAREJO.

GUARDIAMARINA: cualquiera de los jóvenes pertenecientes a la compañía de esta denominación, que aspiran a ser oficiales.

GUARNICIÓN: tropa embarcada en un buque de guerra para el servicio militar.

IMBORNAL: canal practicado en los trancañiles y costados de una nave, para escurrir el agua de cada CUBIERTA. // Artefacto ubicado dentro de dicho canal, por donde circula el agua.

JARCIA: conjunto de todo el cordaje de un barco.

LEVAR: en una de sus acepciones, se refiere a la acción de suspender o levantar las anclas del fondo.

LLAVE: en una de sus acepciones, perno de HIERRO que une y sujeta las gualderas de la cureña, y sobre la que descansa uno de los extremos de la banqueta. // ~ DE CHISPA: se refiere al mecanismo que sirve para dar fuego en un fusil u otra arma de mano, así como al dispositivo que se monta en las piezas de artillería, con la misma función.

MAMPARO: divisor interior de una embarcación, que sirve para formar los distintos camarotes y otros recintos.

MANGA: anchura máxima de un barco.

MESANA: en los barcos de tres palos, aquel que está ubicado hacia popa.

MUÑONES: pivotes dispuestos a los lados de un cañón, que se asientan sobre las gualderas de la cureña.

NAVÍO: nombre propio de los barcos de cierto PORTE, en particular aquellos de guerra que tienen por lo menos dos CUBIERTAS o dos BATERÍAS corridas por cada BANDA. // ~ DE LÍNEA: barco con una artillería de sesenta o más cañones de grueso calibre, capaz de ocupar la formación de combate en línea.

OBRA MUERTA: parte del casco comprendida entre la línea de flotación y la BORDA.

OBRA VIVA: sector del barco que se encuentra sumergido, por debajo de la línea de flotación.

PALMA o MAPA: parte de los BRAZOS de un ancla, con forma triangular o de escudo, que constituye su principal superficie de agarre.

PAÑOL: cada uno de los compartimentos o divisiones que se ubican en proa y popa, destinados al resguardo de los PERTRECHOS y provisiones. Cada uno toma la denominación correspondiente al género que contiene (e.g. PAÑOL de pan, de pólvora, de velas, etc.). El PAÑOL de pólvora se denomina Santa Bárbara.

PERTRECHOS: armas, municiones, APAREJOS y demás instrumentos, máquinas y efectos necesarios que están al servicio de un barco de guerra. Los que conciernen a su manejo o maniobra, se denominan PERTRECHOS marineros; y las armas, municiones, etc., se llaman PERTRECHOS militares.

PESCANTE: estructura ubicada en los muelles, utilizada para el embarco y desembarco de pesos considerables. También se refiere a aquella estructura utilizada para arrizar los botes o las anclas.

PORTA: cualquiera de las ventanas o aberturas cuadrangulares que se encuentran en los costados o en la popa de los barcos, en cualquiera de sus divisiones interiores, ya sea para dar luz o bien para el servicio y manejo de la artillería u otros objetos. En este último caso se las denomina troneras.

PORTACARTUCHOS (también GUARDACARTUCHOS): cajas cilíndricas de madera, utilizadas para transportar (individualmente) los cartuchos de pólvora con los que han de cargarse los cañones.

PORTE: en su acepción común, se refiere al tamaño o capacidad de una nave. En las de guerra, se define por el número de cañones, mientras que en las mercantes, por su tonelaje.

PUNTAL: equivale a la distancia entre el plan (parte inferior y más ancha del fondo) y la CUBIERTA principal de un barco.

REVESTIMIENTO DE FORRO: conjunto de planchas de madera o de metal que revestía la OBRA VIVA de los barcos.

REZÓN: ancla pequeña de cuatro extremidades y sin CEPO, que sirve para embarcaciones menores.

ROLDANA: rueda de madera o metal sobre la que gira la cuerda en los motones o cuadernales, y cualquier otro dispositivo destinado al laboreo con CABOS.

SALVAMENTO: en general, se refiere a la intervención que se realiza después de ocurrido el siniestro marítimo, con el fin de aminorar sus efectos, llevar el buque a tierra y salvar la carga y las personas a bordo. // Actividades de recuperación de objetos pertenecientes al EQUIPAMIENTO o cargamento de un naufragio, tanto por los propios tripulantes como por otras personas.

SENTINA: parte baja de la bodega de un barco.

TENIENTE: oficial patentado, siguiente en rango al capitán (o COMANDANTE) y reemplazante de este en todas sus atribuciones, responsable de la disciplina, la rutina y la supervisión del servicio.

TESAR: poner tirantes los cabos y cables, hasta ponerlos más o menos rígidos, según el caso.

TOLDILLA: véase CASTILLO.

TRINQUETE: en los barcos de tres palos, el que se emplaza inmediato a la proa.

ZALLAR: referido a la artillería, cuando se destrincan los cañones y se ruedan las cureñas hasta que el cañón sobresale por la PORTA, quedando en posición para hacer fuego. También se aplica al caso contrario, cuando se hace retroceder la pieza hacia dentro (sacarla de BATERÍA).

Términos metalúrgicos

ACERO: en la actualidad, ALEACIÓN de HIERRO con un contenido de carbono entre 0,03 y ca. 2 %. El HIERRO forjado del siglo XVIII tenía porcentajes variables de este último elemento. Puede ser considerado como un ACERO de bajo contenido de carbono (ACERO dulce, con <0,3 %) y, en algunos casos, a uno de contenido medio.

ALEACIÓN: sustancia de propiedades metálicas formada por dos o más elementos químicos en cualquier proporción, de los cuales al menos uno es metálico.

ALÚMINA: en una de sus acepciones, se refiere al óxido de aluminio preparado químicamente para ser utilizado como abrasivo (para pulir una superficie).

ARRABIO: HIERRO impuro con más de 4 % de carbono, producido por el alto horno.

BANDAS DE DEFORMACIÓN: bandas producidas en los GRANOS individuales del metal durante el TRABAJADO EN FRÍO.

BARRA: pieza de material de mayor grosor que una chapa y con un ancho aproximadamente semejante al espesor.

BORDE DE GRANO (también LÍMITE DE GRANO): interfase que separa dos GRANOS, adonde la ORIENTACIÓN de la red cristalina cambia desde un GRANO hacia el otro.

BRONCE: ALEACIÓN de cobre y estaño, en la que ocasionalmente pueden encontrarse otros elementos aleados. // ~ EMPLOMADO: ALEACIÓN de cobre-estaño con agregado de plomo.

CARBURACIÓN: proceso de introducción o aporte de carbono (por difusión) en el HIERRO forjado o ACERO. Este proceso se produce a una temperatura superior a la de transformación de la FERRITA en austenita, entre 850 y 910 °C.

CEMENTACIÓN: ACERO obtenido mediante un calentamiento prolongado y posterior enfriamiento lento del HIERRO forjado en un horno de CEMENTACIÓN, donde se produce la CARBURACIÓN. En este horno, las BARRAS de HIERRO permanecen a una temperatura entre 1.050 y 1.100 °C, por separado del combustible (carbón).

CEMENTITA: compuesto microestructural del ACERO, muy duro, frágil y con baja RESISTENCIA a la tracción (carburo de HIERRO, Fe₃C).

COLADA (también VACIADO): introducción de un metal (o ALEACIÓN) en estado líquido, dentro de un molde.

COMPOSICIÓN: cantidad de cada uno de los componentes de un sistema (mezcla, solución, ALEACIÓN, etc.), usualmente expresada en términos de porcentaje en peso, o porcentaje atómico de cada uno de los elementos.

CONSTITUYENTE: FASE o combinación de FASES de una MICROESTRUCTURA, que ocurren en una configuración característica.

CORROSIÓN: reacción química o electroquímica entre un metal y el medio circundante, que produce un deterioro del material y de sus propiedades. // ~ **ELECTROQUÍMICA:** ocasionada cuando el metal se halla en contacto con un medio electrolítico, en el que se genera una reacción anódica (de OXIDACIÓN, o pérdida de electrones) y una reacción catódica (de reducción). // ~ **GALVÁNICA:** corrosión debida el contacto eléctrico de un metal con otro (más noble), o bien con un conductor no metálico, dentro de un medio electrolítico corrosivo (e.g. agua salina).

CRECIMIENTO DE GRANO: aumento en el tamaño de GRANO en un metal policristalino, generalmente como resultado del calentamiento a una temperatura elevada.

CRISTAL: sólido compuesto de átomos, iones, o moléculas, dispuestos en un patrón que es periódico en las tres dimensiones.

DESCARBURACIÓN: remoción del carbono presente en la FUNDICIÓN de HIERRO durante el afinamiento o pudelado.

DEFORMACIÓN: cambio en la forma de un cuerpo debido a la aplicación de una fuerza, temperatura u otras causas. // ~ **ELÁSTICA:** cambio en las dimensiones de un material que es directamente proporcional al aumento o disminución de la tensión aplicada. // ~ **PLÁSTICA:** DEFORMACIÓN permanente de un metal (más allá del límite elástico) debido a la aplicación de una fuerza.

DENDRITAS: CRISTALES, usualmente formados durante la solidificación o sublimación, que se caracterizan por un patrón de tipo arborescente, con ramificaciones. Usualmente se presentan en varios metales puros y ALEACIONES que fueron fundidos y enfriados lentamente. También solidifican con esta ESTRUCTURA

algunos CONSTITUYENTES de las escorias presentes en el HIERRO FORJADO (e.g. wüstita).

DESCINCIFICACIÓN: proceso corrosivo que afecta a los latones, en el que el zinc es selectivamente eliminado de la ALEACIÓN.

DUCTILIDAD: propiedad de los materiales, que bajo la acción de una fuerza pueden deformarse plásticamente antes de la rotura.

DUREZA: medida de la resistencia de un material al mellado o a la abrasión. // Número de ~ VICKERS (HV): expresión de la DUREZA obtenida al dividir una carga, aplicada mediante un indentador Vickers, por el área de la huella permanente que este genera. // MICRO ~: se refiere a aquella DUREZA que se determinada aplicando bajas cargas, comprendidas entre 0,01 y 1 kg (según la norma ASTM E 384).

ELASTICIDAD: propiedad de un material por la cual la DEFORMACIÓN causada por una fuerza desaparece cuando deja de estar solicitado.

ESTRUCTURA: en el caso de la MICROESTRUCTURA, se refiere al tamaño, forma y arreglo de las FASES. // ~ COLUMNAR: ESTRUCTURA gruesa de GRANOS alargados y paralelos, formados por CRECIMIENTO unidireccional, que generalmente se aprecia en las fundiciones. // ~ DE FUNDICIÓN: ESTRUCTURA metalográfica con cierta forma y ORIENTACIÓN de los GRANOS (que pueden ser dendríticos, columnares o globulares, dependiendo de las condiciones) y SEGREGACIÓN de impurezas.

FASE: porción físicamente homogénea y mecánicamente separable de un sistema material.

FERRITA: SOLUCIÓN SÓLIDA intersticial de carbono en HIERRO ALFA, que posee una ESTRUCTURA cúbica de cuerpo centrado (BCC). // ~ ALOTRIOMORFA: FERRITA que se nuclea en la superficie de GRANO austenítico, formando capas que contornean el límite de GRANO original.

FRAGILIDAD: propiedad de los materiales que, al romperse, se fracturan con escasa o nula DEFORMACIÓN plástica.

FUNDENTE: material que se incorpora a la carga de un horno de FUNDICIÓN para que reaccione con las impurezas y forme la escoria (e.g. cal, sílice o manganeso).

FUNDICIÓN: reacción química entre el MINERAL y el combustible, usualmente producida por encima de la temperatura de fusión del metal en cuestión (salvo en el caso del HIERRO).

FUNDICIÓN DE HIERRO: ALEACIÓN de HIERRO y carbono (con un contenido superior al 1,76 %) con varios componentes, que solidifica con una transformación eutéctica. Dependiendo de las condiciones de solidificación y de los distintos elementos presentes, las fundiciones pueden ser blancas o grises, según si el carbono no disuelto se presenta como CEMENTITA o grafito, respectivamente. La presencia de manganeso y las altas velocidades de enfriamiento promueven la formación de las primeras, mientras que el silicio y los enfriamientos lentos favorecen la obtención de las otras.

GRANOS: arreglos cristalinos en un metal policristalino o ALEACIÓN. // ~ COLUMNARES: GRANOS alargados, cuyos ejes longitudinales son paralelos, por ejemplo, a la dirección de solidificación. // ~ EQUIAXIALES: GRANOS poligonales, cuyas dimensiones son aproximadamente las mismas en todas las direcciones.

HIERRO α (ALFA): HIERRO puro, cristalizado en el sistema cúbico de cuerpo centrado (BCC), estable por debajo de los 910 °C.

HIERRO FORJADO: HIERRO de muy bajo contenido de carbono, compuesto esencialmente por GRANOS de FERRITA y numerosas INCLUSIONES de escoria. Grosso modo, a lo largo de la historia de Occidente el HIERRO FORJADO se obtuvo por medio de tres métodos diferentes, cuyos productos fueron:

1) HIERRO esponja, ca. 1500 a.C. – 350 d.C. Se obtenía mediante el llamado método directo, que consistía en la reducción del MINERAL a una temperatura por debajo del PUNTO DE FUSIÓN del HIERRO, en un horno con carbón vegetal y aire insuflado a baja presión, por medio de la tobera. La masa porosa de HIERRO y escoria, llamada esponja o goa, era posteriormente forjada en caliente para remover los restos de escoria, consolidar las partículas de HIERRO y obtener una BARRA de forma adecuada para su posterior procesamiento (tocho).

2) HIERRO afinado, ca. 350 d.C. – finales del siglo XVIII. Con el desarrollo de la tecnología pirotécnica, fue posible fundir el MINERAL. No obstante, el producto resultante (ARRABIO) poseía un elevado contenido de carbono, era duro y frágil, por lo que fue necesario desarrollar un proceso de afinado. A diferencia del

anterior, este se denomina método indirecto. Consistía en fundir progresivamente una BARRA de ARRABIO en una atmósfera oxidante, frente a las toberas, a partir de lo cual se removía parte del silicio y carbono. Los trozos parcialmente refinados y sólidos se colocaban luego en la zona oxidante del horno, donde la eliminación del carbono seguía hasta que el contenido alcanzaba un nivel apropiado. Así, se obtenía una masa pastosa de partículas de HIERRO sólido y escoria fundida. Luego, se forjaba en caliente, a fin de eliminar esta última y consolidar los fragmentos de HIERRO. El producto terminado también era conocido como tocho.

3) HIERRO pudelado, fines del siglo XVIII (patente de Cort) – década de 1860 (introducción del convertidor de Bessemer). En este caso, el HIERRO también se obtenía mediante un proceso indirecto y en dos etapas de refinamiento, aunque ambas eran realizadas en hornos separados. El HIERRO fundido se colocaba en un alto horno, con coque como combustible y aire insuflado mediante fuelles, donde se conseguía oxidar el silicio y otros elementos. El producto primario, parcialmente refinado, era nuevamente fundido en un horno de reverbero, con carbón MINERAL. El metal se batía en contacto con la escoria y en una atmósfera oxidante, a fin de reducir el contenido de carbono. Se obtenía de este modo una masa pastosa de partículas de HIERRO sólido y escoria fundida, que era finalmente procesada como en el caso anterior. El producto resultante era ulteriormente comprimido a través de rodillos ranurados, a fin de eliminar las impurezas remanentes.

IMAGEN ELECTRÓNICA: imagen óptica que resulta de traducir la señal que se obtiene cuando se incide un haz de electrones sobre el objeto bajo análisis.

INCLUSIONES: material extraño contenido (mecánicamente) en la MATRIZ; por lo general son partículas no metálicas tales como óxidos, sulfuros y silicatos.

LAMINACIÓN: proceso de transformación de un lingote o chapa gruesa en una pieza de menor espesor y mayor longitud. Consiste en reducir la sección transversal del material haciéndolo pasar a través de dos cilindros que giran a la misma velocidad y en sentido contrario. El procedimiento puede ser en caliente (por encima de la temperatura de RECRISTALIZACIÓN) o en frío, en cuyo caso se realizan RECOCIDOS intermedios (entre cada LAMINACIÓN).

LATÓN: ALEACIÓN de cobre y zinc (en algunos casos, con pequeñas cantidades de otros elementos, tales como estaño y plomo) en la que el primero supera el 50 % de los elementos presentes. // $\sim \alpha$ (ALFA): SOLUCIÓN SÓLIDA, formada principalmente por zinc (en un porcentaje inferior al 37 %) y cobre, que tiene la misma ESTRUCTURA cristalina de este último. // $\sim \alpha + \beta$ (ALFA + BETA): en este caso, el contenido de zinc se encuentra entre 37 y 46 %. // $\sim \beta$ (BETA): LATÓN con un contenido de zinc entre 46 y 50 %.

MALEABILIDAD: propiedad de los materiales que permite su DEFORMACIÓN plástica sin fractura en la compresión.

MATRIZ: es el micro-CONSTITUYENTE continuo (formado por una o más FASES) de una ESTRUCTURA polifásica.

METALOGRAFÍA: método clásico de estudio de la ESTRUCTURA de los metales, que consiste en la observación de la superficie preparada de una probeta mediante el microscopio óptico (metalográfico) o electrónico de barrido.

MICROGRAFÍA (también FOTOMICROGRAFÍA): reproducción gráfica de la superficie de una muestra tal como es vista a través del microscopio o equipo óptico equivalente, en magnificaciones mayores a diez aumentos.

MICROESTRUCTURA: ordenamiento microscópico de los CONSTITUYENTES de un material.

MINERAL: sustancia inorgánica natural que se encuentra en la superficie de la tierra o en las capas terrestres más profundas, y que constituye la fuente a partir de la cual se extraen los metales.

MORFOLOGÍA: en el caso del análisis metalográfico, características de la forma de una ESTRUCTURA (i.e. la forma y ORIENTACIÓN de una FASE específica o CONSTITUYENTE).

NÚCLEO (también MACHO): pieza de un molde, que ocupa el espacio correspondiente a la porción hueca de la pieza que se desea obtener por medio del proceso de COLADA.

ORIENTACIÓN: posición angular de un CRISTAL o CONSTITUYENTE.

OXIDACIÓN: reacción en la que hay un aumento de la valencia, como resultado de una pérdida de electrones.

PERLITA: producto metaestable formado en ALEACIONES de HIERRO con un contenido de carbono mayor al 0,025%, pero menor al 6,67%. La ESTRUCTURA consiste en un agregado de láminas alternadas de FERRITA y CEMENTITA, resultantes del enfriamiento lento de la austenita durante la reacción eutectoide.

PERNERÍA: conjunto de pernos y, por extensión, todos los pernos de un buque.

PLASTICIDAD: propiedad de los materiales que les permite deformarse de forma permanente sin sufrir ruptura.

PULIDO: proceso mecánico, químico o electroquímico, utilizado para preparar un espécimen de ensayo (probeta) y lograr una superficie especular, reflectora, para su posterior observación al microscopio.

PUNTO DE FUSIÓN: temperatura a partir de la cual un metal puro, compuesto o eutéctico, pasa del estado sólido al líquido. A esta temperatura, el líquido y el sólido se encuentran en equilibrio.

REACTIVO DE ATAQUE: solución que se aplica de forma controlada sobre la superficie de un metal para revelar los detalles de su ESTRUCTURA.

RECHUPE: cavidad originada en una pieza fundida como resultado de la contracción del metal durante el proceso de solidificación.

RECOCIDO: proceso de calentamiento de un objeto metálico a una temperatura definida durante cierto tiempo, por medio del que se modificada su ESTRUCTURA cristalina y mejora la capacidad de DEFORMACIÓN del material. De este modo, se le otorga mayor PLASTICIDAD y se reduce el límite elástico, con el fin de facilitar su mecanizado.

RECRISTALIZACIÓN: formación de una nueva ESTRUCTURA de GRANOS por nucleación y CRECIMIENTO, producida por someter un metal a condiciones adecuadas de temperatura durante un tiempo determinado.

RESISTENCIA: en un sentido amplio, es la capacidad que tiene un material para soportar un estado de tensión, sin deformarse plásticamente ni romperse.

SEGREGACIÓN: concentración de los elementos de la ALEACIÓN en sectores específicos de una muestra metálica. // MICRO ~: tipo de SEGREGACIÓN producida en el interior de un GRANO o de un área pequeña, usualmente asociada a la

solidificación celular o dendrítica. // ~ DENDRÍTICA: distribución no homogénea de los elementos de la ALEACIÓN en las ramas de cada una de las DENDRITAS.

SOLUCIÓN SÓLIDA: FASE sólida que resulta cuando uno o varios elementos (solutos) se disuelven en otro (solvente). En el caso de los metales, el solvente es un metal y el o los solutos pueden ser metales y/o no metales.

TRABAJADO EN CALIENTE: DEFORMACIÓN de un material metálico bajo condiciones que originan la RECRISTALIZACIÓN de su ESTRUCTURA. // ESTRUCTURA DE ~: MICROESTRUCTURA que resulta de la DEFORMACIÓN plástica por encima de la temperatura de RECRISTALIZACIÓN del material en cuestión.

TRABAJADO EN FRÍO: DEFORMACIÓN de un material metálico bajo condiciones que no generan la RECRISTALIZACIÓN de su ESTRUCTURA, lo que produce un aumento progresivo de su DUREZA y FRAGILIDAD. // ESTRUCTURA DE ~: MICROESTRUCTURA que se obtiene a consecuencia de deformar plásticamente un material por debajo de la temperatura de RECRISTALIZACIÓN.

Anexo 2

LISTA RAZONADA DE LOS PRINCIPALES ACONTECIMIENTOS HISTÓRICOS

La siguiente no es una lista exhaustiva ni detallada de la ingente cantidad de sucesos ocurridos a lo largo del período considerado, tentativa que sería imposible de llevar a cabo en tan modesto espacio. Antes, es un recuento sinóptico de aquellos acontecimientos que consideramos de mayor interés con relación a las cuestiones aquí analizadas. Atentos a ello, la información consignada en este anexo busca ser una vía de acceso rápido a las principales coordenadas de los conflictos navales y las innovaciones técnicas y científicas que tuvieron implicaciones sociales, económicas y políticas notables. También tomamos en consideración algunos sucesos ocurridos durante la primera mitad del siglo XVIII que, si bien en principio quedan fuera del rango temporal de la investigación, constituyen antecedentes relevantes para la materia.

Elaboramos esta lista a partir de datos recabados de una multiplicidad de estudios históricos (e.g. Campbell 1818; McCloy 1952; Archivald 1971; Ducassé 1973; Tylecote 1976; Riera 1992; Derry y Williams 1997; Reynolds 2000; Nieto Galan 2001; Rodger 2006; Brack 2008; Gibler 2009:xxxiv-xxxvi; y otros textos sobre temas específicos que fueron utilizados a lo largo de la tesis). En particular, seguimos el modelo de tabla cronológica que encontramos en la obra de Dufief, *A New Universal and Pronouncing Dictionary of the French and English Languages*, y que se titula 'A Chronological Table of Remarkable Events, Discoveries, and Inventions' (Dufief 1810:556-634). Listas semejantes a esta también pueden encontrarse en algunos de los trabajos citados arriba.

A los fines de orientar al lector con respecto a la naturaleza de los eventos consignados, optamos por incluir una referencia alusiva al inicio de los párrafos: 1)

bajo la categoría *política* (P) consideramos todos aquellos acontecimientos políticos (y diplomáticos) relacionados con la expansión comercial y territorial de las potencias marítimas de la época (desde la toma de una guarnición y un viaje de exploración hasta la firma de un tratado de paz); 2) en *tecnología* (T) mencionamos las experimentaciones e innovaciones técnicas, fundamentalmente en el campo de la navegación, la metalurgia y la industria en general, así como algunos de los personajes más ilustres; y 3) dentro de *ciencia* (C) consignamos aquellas investigaciones, descubrimientos y demás eventos dentro del ámbito académico, relevantes para el tema que nos ocupa, y mencionamos asimismo a sus representantes más destacados. En el caso de los eventos que no admiten desambiguación (e.g. muchos viajes de carácter científico también tuvieron motivaciones nacionalistas, económicas, etc.), nos inclinamos por categorizarlos de acuerdo al rasgo que consideramos más significativo.

Es necesario aclarar que las fechas de los eventos reportados a continuación pueden discrepar con las de otras fuentes, debido a la diferencia existente entre los calendarios Juliano y Gregoriano (para los siglos XVIII y XIX, deben adicionarse 11 o 12 días más a este último, respectivamente). Aquí respetamos las fechas consignadas en la bibliografía consultada.

Período 1700 – 1815

- **1700** ^(P) Tratado de alianza entre Gran Bretaña, los Países Bajos y Suecia, en La Haya (13 de enero).
^(C) Fundación de Preußische Akademie der Wissenschaften (Academia Prusiana de las Ciencias) de Berlín (desde 1701, Real Sociedad Prusiana de las Ciencias).
- **1701** ^(P) Guerra de la Sucesión Española (1701-1713). // Tratado de alianza entre Gran Bretaña, los Países Bajos y Dinamarca (20 de enero). // Tratado de alianza mutua entre Francia, España y Mantua (24 de febrero). // Tratado de alianza entre Francia y Baviera (9 de marzo). // Tratado de alianza mutua entre España y Portugal (18 de junio).

- **1702** ^(P) Los británicos y holandeses destruyeron una flota franco-española en la Batalla de Rande, ría de Vigo (23 de octubre).
- **1703** ^(P) Alianza defensiva y ofensiva entre el emperador del Sacro Imperio Romano Germánico (Alemania), Portugal, España, Gran Bretaña y los Países Bajos (16 de mayo).
- **1704** ^(P) Los británicos y holandeses vencieron a una flota franco-española en la Batalla de Málaga (24 de agosto).
- **1705** ^(P) Los británicos vencieron a una escuadra española frente a Gibraltar (21 de marzo).
^(T) Thomas Newcomen (1663-1729) comenzó los primeros ensayos prácticos de la máquina de vapor atmosférica (o máquina de Newcomen).
- **1709** ^(T) Abraham Darby (1678-1717) descubrió el modo de emplear coque en lugar de carbón vegetal como combustible para el alto horno.
- **1713** ^(P) Tratado de Utrecht entre Gran Bretaña y Francia (22 de abril). Uno de varios tratados multilaterales firmados entre 1713 y 1714.
- **1715** ^(P) Convención de alianza entre Gran Bretaña y Rusia (17 de octubre).
- **1716** ^(P) Tratado de Westminster, entre el emperador del Sacro Imperio Romano Germánico y Gran Bretaña (25 de mayo).
- **1717** ^(P) Tratado de alianza entre Gran Bretaña, Francia y los Países Bajos (4 de enero).
- **1718** ^(P) La Cuádruple Alianza, entre el emperador del Sacro Imperio Romano Germánico, Gran Bretaña, Francia y Holanda (22 de julio). // Guerra entre Inglaterra y España (22 de diciembre).
- **1721** ^(P) Tratado de alianza defensiva entre Francia y España (27 de marzo). // Tratado de alianza defensiva entre Gran Bretaña, Francia y España (13 de junio).
- **1722** ^(T) René Antoine Ferchault de Réaumur publicó sus investigaciones sobre la conversión del hierro forjado en acero y la dulcificación (maleabilización) de la fundición de hierro.
- **1724** ^(C) Fundación de la Academia de Ciencias de San Petersburgo.

- **1725** ^(P) Tratado de alianza defensiva entre el emperador del Sacro Imperio Romano Germánico y España (30 de abril). // Tratado de alianza entre Gran Bretaña, Francia y Prusia (3 de septiembre).
- **1727** ^(P) Tratado de alianza entre Gran Bretaña, Francia y Dinamarca (16 de abril). // Tratado de amistad y alianza entre Francia y Baviera (12 de noviembre).
- **1729** ^(P) Tratado de paz, unión, amistad y mutua defensa entre Gran Bretaña, Francia y España (9 de noviembre).
- **1731** ^(P) Tratado de paz y alianza entre el emperador del Sacro Imperio Romano Germánico, Gran Bretaña, los Países Bajos y España (16 de marzo).
- **1733** ^(P) Guerra entre Francia y Alemania. // Tratado de alianza entre Francia y Sardina (26 de septiembre).
- **1734** ^(P) Tratado de alianza entre Gran Bretaña y Dinamarca (30 de septiembre).
- **1735** ^(P) Tratado de alianza entre Francia, Polonia y Lituania (18 de septiembre).
- **1738** ^(T) Comienzos de la producción de hojalata por medio de rodillos laminadores en Inglaterra.
- **1739** ^(P) Guerra entre Inglaterra y España (Guerra del Asiento o de la Oreja de Jenkins, 1739-1748). // Tratado entre Francia y los Países Bajos (21 de diciembre).
^(C) Fundación de la Kungliga Vetenskapsakademien (Real Academia de las Ciencias de Suecia) en Estocolmo.
- **1740** ^(P) El Brigadier¹ (*Commodore*) George Anson realizó su viaje alrededor del mundo (1740/4).
- **1741** ^(P) Tratado de alianza entre España y Baviera (28 de mayo). // Tratado de alianza entre Francia y Prusia (5 de junio). // Tratado de amistad y alianza entre España y Polonia (20 de septiembre).

¹ Este rango de la Real Armada española, intermedio entre el Capitán de Navío y el Jefe de Escuadra, no fue adoptado sino hasta el año 1773. Sobre los rangos españoles, véase el artículo 'Oficiales y dotación de los navíos de la Real Armada española de finales del siglo XVIII. Organización' (www.todoababor.es/vida_barcos/organizacion.htm). Consultar además la obra de Rodger 2006:xxiii,xxiv; para mayor información sobre las equivalencias entre los rangos británicos y los utilizados en las armadas francesa y española durante el siglo XVIII.

- **1742** ^(P) Tratado de alianza entre Francia y Dinamarca (15 de marzo). // Alianza defensiva entre Gran Bretaña y Prusia (18 de noviembre).
^(T) Benjamin Robins publicó *New Principles of Gunnery*.
- **1743** ^(P) Tratado defensivo de paz y alianza entre Gran Bretaña, Hungría y Sardina (2 de septiembre). // Tratado de alianza entre Gran Bretaña y Rusia (11 de diciembre).
- **1744** ^(P) Enfrentamiento naval entre una fuerza combinada franco-española y la flota mediterránea británica, frente a Tolón (22 de febrero). // Guerra entre Gran Bretaña y Francia (31 de febrero).
- **1745** ^(P) La Cuádruple Alianza, entre Gran Bretaña, Austria, los Países Bajos y Polonia (8 de enero).
- **1747** ^(P) Primera y Segunda Batalla del Cabo Finisterre, Galicia, entre las flotas británica y francesa (3 de mayo y 14 de octubre).
- **1748** ^(P) Tratado de paz entre Gran Bretaña, Francia, España, Austria, Sardina y los Países Bajos (7 de octubre).
- **1749** ^(T) Jorge Juan y Santacilia (1713-1773) fue enviado en misión de espionaje a Inglaterra (1749/50). En ese mismo año, Antonio de Ulloa (1716-1705) viajó con semejante propósito a varios países de Europa continental (1749/51).
- **1750** ^(P) Tratado de comercio entre Gran Bretaña y España (5 de octubre).
- **1751** ^(C) Fundación de la Society of Antiquaries of London (Sociedad de Anticuarios de Londres).
- **1752** ^(P) Tratado de paz entre España, Austria-Hungría y Sardina (14 de junio).
^(T) Henri-Louis Duhamel de Monceau publicó *Éléments de l'architecture navale*.
- **1753** ^(P) Convención de alianza entre Gran Bretaña, Austria-Hungría, Módena y Toscana (11 de mayo).
- **1754** ^(T) Fundación de la Royal Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce (Real Sociedad para el fomento de las Artes, Manufacturas y Comercio) en Londres.
- **1756** ^(P) Guerra entre Inglaterra y Francia (Guerra de los Siete Años, 1756-1763). // Tratado entre Gran Bretaña y Prusia (16 de febrero). // Tratado de unión y amistad defensiva entre Francia y Austria-Hungría (1 de mayo). // Los

británicos perdieron el Puerto de Mahon (Menorca) en manos de los franceses (29 de junio).

- **1757** ^(P) Los británicos capturaron las ciudades indias de Calcuta (2 de enero) y Chandernagor (23 de enero), que estaban bajo dominio francés. Combate frente al Cabo François, en el Caribe, entre tres navíos de línea británicos y un convoy francés (21 de octubre).
^(T) John Muller publicó *A Treatise of Artillery*.
- **1758** ^(P) El navío británico de 64 cañones *Monmouth* capturó al francés de 84 cañones *Foudroyant* (28 de febrero). // Tratado entre Gran Bretaña y Prusia (11 de abril). // El Teniente General británico (*Vice-Admiral*) George Pocock combatió contra la escuadra del Conde d'Aché frente a Cuddalore, India (29 de abril). // Richard Howe desembarcó en cercanías de Saint-Malo, Francia, en un intento fallido por tomar la ciudad (5 a 12 de junio). // El Capitán General o Almirante (*Admiral*) Boscawen tomó la base francesa de Luisburgo, Acadia, Norteamérica (26 de julio). // Pocock enfrentó nuevamente a d'Aché (3 de agosto). // Nuevo intento malogrado de Howe por tomar Saint-Malo; esta vez, con numerosas pérdidas (17 de agosto a 10 de septiembre). // El Brigadier británico Keppel capturó la base francesa en Gorea, isla frente a Dakar, Senegal, punto estratégico de la ruta comercial con el Oriente (20 de diciembre).
- **1759** ^(P) Los británicos capturaron el archipiélago de Guadalupe, Antillas Menores (1 de mayo). // Enfrentamiento entre las escuadras británica y francesa cerca de Puducherry (10 de septiembre). // Boscawen venció a De la Clue en la Batalla de Lagos, Portugal, en la que capturó a tres navíos de línea (18 de agosto). // Se produjo el tercer enfrentamiento entre Pocock y d'Aché, quien luego de ser nuevamente derrotado abandonó las aguas de la India (2 de septiembre). // El Teniente General (*Vice-Admiral*) Charles Saunders dirigió la flota que estuvo a cargo de vencer a los franceses en Canadá (junio a septiembre). // Sir Edward Hawke venció a la flota francesa en la Batalla de la Bahía de Quiberon, Golfo de Vizcaya; varios navíos de línea fueron apresados (20 de noviembre). Esta batalla puso fin a los intentos navales de Francia durante la guerra.
- **1761** ^(P) La ciudad de Puducherry, India, fue sitiada y capturada por los británicos; las acciones navales estuvieron al mando del Jefe de Escuadra (*Rear-Admiral*)

Stevens (15 de enero). // Keppel y el General (*Major General*)² Hodgson capturaron Belle-Île, Bretaña (8 de junio). El mismo día, el Brigadier Sir James Douglas tomó la isla francesa Dominica, Antillas Menores. // Liga entre Francia y España (15 de agosto). // Los británicos capturaron Manila, Filipinas, y el resto de las islas españolas del archipiélago; el Jefe de Escuadra Cornish estuvo a cargo de las operaciones navales (5 de octubre).

^(T) Viaje del *HMS Alarm*, para experimentar con el sistema de revestimiento de cobre (1761-1763).

- **1762** ^(P) Guerra entre Gran Bretaña y España (3 de enero). // Los británicos capturaron la isla francesa Martinica, Antillas Menores, de la mano del Jefe de Escuadra George B. Rodney y el General Robert Monckton (16 de febrero). // Guerra entre España y Portugal (23 de mayo). // España y Francia le declararon la guerra a Portugal (20 de junio). // El Capitán General (*Admiral*) Sir Pocock comandó una flota de más de cincuenta naves, con las que capturó La Habana, junto con doce navíos de línea españoles (13 de agosto). // Tratado de paz entre Gran Bretaña y Francia (3 de noviembre).

^(T) José Díaz Infante publicó el *Compendio de Artillería para el servicio de Marina*.

- **1763** ^(P) Tratado de paz entre Gran Bretaña, Francia y España, también aceptado por Portugal, que dio fin a la guerra (10 de febrero).

- **1764** ^(P) Viaje alrededor del mundo al mando del Capitán John Byron (1764/66).

^(T) John Harrison recibió una suma de 10.000 libras esterlinas por la invención del cronómetro marino para medir la Longitud. // René-Antoine Réaumur y Henri-Louis Duhamel de Monceau publicaron *Fabrique des Ancres* (una versión previa fue presentada por el segundo en 1723). // El oficial naval Henri de Fulque d'Oraison (1739-1819), visitó seis astilleros británicos (1764/65).

^(C) Fundación de la Conferencia Physycomatemática Experimental de Barcelona (a partir de 1770, Real Academia de Ciencias Naturales y Artes de Barcelona; y desde 1887, Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona).

- **1765** ^(T) Fundación de la Lunar Society of Birmingham (Sociedad Lunar de Birmingham, originalmente Lunar Circle). // Gabriel Jars visitó Gran Bretaña (como espía gubernamental) para estudiar la metalurgia.

² Rango del ejército.

- **1766** ^(P) Expedición al mando del Capitán Samuel Wallis; descubrimiento de Tahití y la Isla Pitcairn. // Tratado de alianza y comercio entre Gran Bretaña y Suecia (5 de febrero). // Viaje de Louis Antoine de Bougainville, a bordo de la fragata *Boudeuse*, de circunnavegación del globo (1766/69).
- **1768** ^(C) Primer viaje de James Cook al Pacífico, a bordo del *Endeavour*, realizado bajo el auspicio de la Real Sociedad de Londres con el fin de observar desde Tahití el tránsito de Venus (1768/71).
^(T) Los británicos William Cole y John Bentinck desarrollaron un nuevo modelo de bomba de cadena (bomba Cole/Bentinck).
- **1769** ^(T) James Watt (1736-1819) patentó la máquina de vapor de simple efecto, con el condensador separado del cilindro (una versión mejorada de la máquina de Newcomen).
- **1772** ^(P) Segundo viaje de Cook, con el *Resolution* y el *Adventure*, a las tierras antárticas (1772/75).
^(T) Construcción de una máquina de Newcomen en Madrid, bajo la dirección de Jorge Juan.
- **1773** ^(T) Empleo de una máquina de Newcomen en el Arsenal de Cartagena (España). // Francisco Rovira publicó el *Tratado de Artillería*.
- **1774** ^(C) Publicación de la obra de Gabriel Jars *Voyages Métallurgiques* (1774-1781).
- **1775** ^(P) Rebelión en las colonias norteamericanas (Guerra de Independencia de los Estados Unidos).
^(T) John Wilkinson (1728-1808) patentó una máquina perforadora de precisión, que fue empleada para la producción de cañones y cilindros de fundición de hierro. // James Watt se asoció con Matthew Boulton (1728-1809) para producir máquinas de vapor. // El Conde de Rosily-Mesros visitó varios astilleros británicos entre 1775 y 1777.
- **1776** ^(P) Tercer viaje de Cook, con el *Resolution* y el *Discovery*, con miras a encontrar un pasaje navegable entre el Pacífico y el Atlántico al Norte de Canadá (1776/80). Cook fue asesinado en Hawái, durante una revuelta, en febrero de 1779.
- **1778** ^(P) Guerra entre Gran Bretaña y Francia, tras aliarse esta última a las colonias inglesas de Norteamérica (6 de febrero). // El Capitán General (*Admiral*) Keppel

se enfrentó al Conde d'Orvilliers en la Batalla de Ushant, al Oeste de la isla homónima localizada frente al canal de la Mancha (*English Channel*); no hubo un resultado decisivo (27 de julio). // Sir Edward Vernon capturó Puducherry (21 de agosto). // Una flota comandada por el Jefe de Escuadra Samuel Barrington y el General James Grant se apoderó de la isla Santa Lucía, Antillas Menores, luego de vencer a las fuerzas superiores del Capitán General francés (*Vice-Amiral*) Charles Enri, Conde d'Estaing (30 de diciembre).

^(T) Charles Douglas aplicó la llave de chispa a los cañones del navío *HMS Duke*.

- **1779** ^(P) España le declaró la guerra a Inglaterra. Enfrentamiento entre la flota del Teniente General (*Vice-Admiral*) John Byron y la del Conde d'Estaing frente a Granada, Antillas Menores.

- **1780** ^(P) Una escuadra española al mando del Capitán General Juan de Lángara se enfrentó con las fuerza de Rodney en la Batalla del Cabo de San Vicente, en la que este último capturó seis navíos de línea (16 de enero). // El comandante británico libró tres combates contra las naves del Conde de Guichen en las Indias Occidentales (Islas del Caribe), que no tuvieron resultados concluyentes (17 de abril, 15 de mayo y 19 de mayo). // Una flota combinada franco-española capturó varios barcos mercantes británicos (9 de agosto). // Guerra entre Gran Bretaña y los Países Bajos (20 de diciembre).

^(T) Varios ingenieros y académicos franceses viajaron a Gran Bretaña a lo largo de esta década (algunos como espías gubernamentales) y realizaron reportes sobre diversos avances industriales y científicos (e.g. Le Turc, Lesage, Prony, Cachin, Hassenfratz, etc.).

- **1781** ^(P) Rodney tomó la isla San Eustaquio, Antillas Menores (3 de febrero). // Una escuadra al mando del Capitán General francés (*Vice-Amiral*) Pierre André De Suffren combatió contra las fuerzas del Brigadier británico George Johnstone, que se dirigía hacia Ciudad del Cabo, en Porto Praia, Cabo Verde (16 de abril). // Batalla de Fort Royal, Martinica, entre la escuadra británica al mando de Sir Samuel Hood y la francesa comandada por el Conde de Grasse (29 de marzo). // Los barcos del Teniente General (*Vice-Admiral*) Hyde Parker y los del Capitán General holandés (*Lieutenant-Admiraal*) Zoutmann, que escoltaban una flota mercante, se enfrentaron en la Batalla del Banco Dogger, en el Mar del Norte (5 de agosto). // El Jefe de Escuadra británico Thomas Graves fue derrotado por el Conde de Grasse en la Batalla de Chesapeake o de los Cabos de Virginia

(5 de septiembre). // El Jefe de Escuadra Richard Kempenfelt capturó quince barcos de una flota convoyada por el francés De Guichen en la Bahía de Vizcaya (12 de diciembre).

^(T) Fundación de la Manchester Literary and Philosophical Society (Sociedad Literaria y Filosófica de Manchester).

- **1782** ^(P) Sir Edward Hughes y De Suffren entablaron el primero de cinco combates entre flotas en la costa este de la India. No se perdieron naves durante esos enfrentamientos (17 de febrero, 12 de abril, 5 de julio, 3 de septiembre, y 5 de junio de 1783). // La flota del conde de Grasse fue vencida en la Batalla de los Santos, Antillas Menores, en la que los británicos al mando del Capitán General (*Admiral*) Rodney capturaron el navío de 104 cañones *Ville de Paris* (12 de abril). // Lord Howe tomó posesión de Gibraltar por última vez (octubre). // Naufragio del navío británico de 100 cañones *Royal George* (29 de agosto).

^(T) Patente de la máquina de vapor de doble efecto de James Watt (el vapor acciona el émbolo en ambos sentidos: en subida y bajada). La patente fue otorgada a Boulton-Watt por un término de 25 años.

- **1783** ^(P) Tratado de París o de Versalles. Acuerdos de paz entre Gran Bretaña, Francia, España y los Países Bajos. Gran Bretaña reconoció la independencia de los Estados Unidos de Norteamérica (3 de septiembre).

^(T) Henry Cort (1740-1800) patentó el método de pudelado, que permitía obtener hierro forjado en barras (*bar iron*) a partir del hierro de primera fusión o arrabio (*pig iron*), y los rodillos ranurados para la fabricación de barras de hierro. // Honoré-Sébastien Vial Du Clairbois editó entre 1783 y 1787 los tres volúmenes de la *Encyclopédie méthodique. Marine*.

- **1784** ^(T) Tomás de Morla publicó el *Tratado de Artillería*. // Los franceses Wendel y Givry visitaron Gran Bretaña para estudiar la industria metalúrgica.

- **1785** ^(P) Alianza defensiva entre Francia y los Países Bajos (10 de noviembre).

^(T) Utilización de otras máquinas de vapor de Newcomen en los diques de La Carraca (San Fernando, Cádiz, España).

- **1787** ^(C) Los franceses Morveau, Lavoisier, Berthollet y Fourcroy publicaron la nueva nomenclatura química en *Méthode de Nomenclature Chimique*. // Francisco Rovira publicó el *Compendio de Matemáticas*.

- **1788** ^(P) Tratado entre Gran Bretaña y Rusia (13 de enero). // Tratado provisional de alianza defensiva entre Gran Bretaña y Prusia (13 de junio).

^(T) Agustín de Betancourt viajó a Londres, y luego a Birmingham, para copiar la máquina de vapor de Watt.
- **1789** ^(P) Insurrecciones en Francia. Los representantes del Tercer Estado se proclamaron Asamblea Nacional (17 de junio). Toma y destrucción de la Bastilla (14 de julio). Comienzo de la Revolución Francesa (1789-1799).

^(T) Los agentes de la Marina de Guerra francesa Pierre-Alexandre Forfait (1752-1807) y Daniel Lescallier (1743-1822) visitaron Inglaterra para realizar extensas observaciones sobre la Real Armada británica.
- **1790** ^(T) Los hermanos Périer construyeron en París, a partir de la información de Betancourt, una máquina de vapor de doble efecto. // La máquina de Watt llegó a las minas de Almadén, Castilla-La Mancha.
- **1791** ^(P) Expedición del Capitán George Vancouver hacia el Estrecho de Nootka, en la costa pacífica de Norteamérica, para restablecer allí su ocupación (1791/94).
- **1792** ^(P) Francia le declaró la guerra a Hungría y Bohemia (20 de abril). // Expedición del Capitán George Vancouver hacia el Estrecho de Nootka, en la costa pacífica de Norteamérica, para restablecer allí su ocupación (1791/94).

^(T) La máquina de vapor de Watt comenzó a emplearse para dragar los puertos españoles.
- **1793** ^(P) Guerras Revolucionarias Francesas o Guerras de Coalición (1793-1802). Francia le declaró la guerra a Gran Bretaña y los Países Bajos (1 de febrero). // Francia le declaró la guerra a España (7 de marzo). // Tratado de alianza entre Gran Bretaña y Rusia (25 de marzo). // Tratado de alianza entre Gran Bretaña y Sardina (25 de abril). // Convención entre Gran Bretaña y España (25 de mayo). // Convención entre Gran Bretaña y las Dos Sicilias (12 de julio). // Tratado de alianza entre Gran Bretaña y Prusia (14 de julio). // Convención provisional entre España y Portugal (15 de julio). // Lord Hood ocupó temporalmente Tolón (en connivencia con los realistas) y capturó diecinueve barcos de guerra franceses, entre estos el navío de 120 cañones *Commerce de Marseilles* (27 de agosto hasta diciembre, cuando fue expulsado por los republicanos). // Tratado de alianza entre Gran Bretaña y Austria (30 de agosto). // Nuevo calendario republicano francés (5 de octubre).

^(T) Establecimiento de nuevas tablas de pesos y medidas. // Invención del telégrafo por parte del ingeniero francés Claude Chappe (1763-1805). // Jorge Juan publicó su *Exámen Marítimo teórico práctico*.

- **1794** ^(P) El Teniente General (*Vice-Admiral*) Sir John Jervis y el Teniente General (*Lieutenant-General*)³ Sir Charles capturaron las islas Martinica y Santa Lucía, Antillas Menores (22 de marzo y 4 de abril). // Tratado entre Gran Bretaña y los Países Bajos con Prusia (19 de abril). // Las flotas al mando del Jefe de Escuadra Villaret-Joyeuse y de Lord Howe protagonizaron el enfrentamiento del Glorioso Primero de Junio (Tercera Batalla de Ushant), en la que los británicos capturaron seis navíos de línea franceses (1 de junio). // El navío británico de 74 cañones *Alexander* fue apresado por los franceses (6 de noviembre). // Tratado de amistad y comercio entre Gran Bretaña y los Estados Unidos de Norteamérica (19 de noviembre).

^(T) Creación de la École centrale des travaux publics (desde 1795, École polytechnique —Escuela Politécnica—) y del Conservatoire National des Arts et Métiers (Conservatorio Nacional de Artes y Oficios), en París. // Empleo táctico de un globo aerostático por parte de los franceses durante la batalla de Fleurus (27 de junio). // David Steel publicó *The Elements and Practice of Rigging and Seamanship*.

- **1795** ^(P) El Teniente General (*Vice-Admiral*) William Hotham (sucesor de Hood) venció a la flota francesa del Mediterráneo frente a Génova (14 de marzo). // Tratado de paz entre Francia y Prusia (5 de abril). // Tratado subsidiario entre Gran Bretaña y Austria (4 de mayo). // Alianza entre Francia y los Países Bajos (18 de mayo). // Una escuadra británica al mando de sir William Cornwallis se encontró con una francesa frente a Belle-Île, y tuvo que retirarse debido a la superioridad de esta última (17 de junio). // La flota del canal, al mando de Lord Bridport (en reemplazo de Howe), persiguió a varios barcos de guerra franceses frente a la Isla de Groix, Bretaña, y capturó a dos navíos de línea (23 de junio). // Las respectivas flotas del Mediterráneo volvieron a enfrentarse frente a Hyères, Francia, y los británicos resultaron vencedores (12 de julio). // Tratado de paz entre Francia y España (22 de julio). // El Jefe de Escuadra británico Peter Rainier capturó la ciudad holandesa Trincomalee, Ceilán (26 de julio). // El Teniente General (*Vice-Admiral*) Sir George Keith Elphinstone tomó Colonia del Cabo, Sudáfrica, que también estaba en manos de los holandeses

³ Rango del ejército.

(16 de agosto). // Gran Bretaña le declaró la guerra a los Países Bajos (15 de septiembre) //. Triple alianza entre Gran Bretaña, Austria y Rusia (17 de septiembre).

- **1796** ^(P) Los británicos capturaron, en una serie de operaciones al mando del Jefe de Escuadra Sir Hugh Cloberry Christian y el Teniente General (*Lieutenant-General*) Sir Ralph Abercromby, las siguientes islas de las Antillas Menores: Barbados, Santa Lucía, San Vicente y Granada (abril a junio). // Nelson interceptó varios barcos de provisiones (*store-ships*) (abril y mayo). // Rendición de una escuadra holandesa al mando del Jefe de Escuadra Lucas, en la Bahía de Saldanha, Sudáfrica (3 de agosto). // Los británicos capturaron dos fragatas francesas (13 de octubre). // España le declaró la guerra a Gran Bretaña (18 de octubre).

^(T) Primer telégrafo instalado en Inglaterra.

- **1797** ^(P) La flota británica al mando de Sir John Jervis se enfrentó a una flota española más numerosa (que incluía al *Santísima Trinidad* de cuatro puentes y 136 cañones) bajo las órdenes del Capitán General don José de Córdova en la Batalla del Cabo de San Vicente, en la que los primeros apresaron cuatro navíos de línea (14 de febrero). // La isla de Trinidad, Antillas Menores, fue capturada por el Jefe de Escuadra Henry Harvey y el Teniente General (*Lieutenant-General*) Abercromby; previamente, varios navíos españoles fueron incendiados y capturados en la Bahía de Chaguaramas (17 y 18 de febrero). // Horacio Nelson comandó los bombardeos a la ciudad de Cádiz, Andalucía (3 y 5 de julio). // La flota holandesa perdió frente a las fuerzas del Capitán General (*Admiral*) Adam Duncan en la Batalla de Camperdown, frente a Camperduin, Países Bajos, en la que los británicos capturaron once presas (11 de octubre).

- **1798** ^(P) Sir Nelson venció a la flota de Napoleón Bonaparte, al mando del Teniente General (*Vice-Amiral*) François-Paul Brueys, en la Batalla de la Bahía de Abukir (o del Nilo), Egipto, en la que los británicos capturaron la mayor parte de los barcos enemigos (1 de agosto). // El Brigadier francés (*Chef de Division*) Bompard se enfrentó al Brigadier Sir John Borlase-Warren frente a la Isla Tory, Irlanda; días después, varias fragatas francesas fueron capturadas (12 de octubre). // El Brigadier Sir John Duckworth y el General (*General*) Charles Stuart se apoderaron de Menorca (15 de noviembre). // Tratado entre Gran Bretaña y Rusia, para conducir la guerra contra Francia (29 de diciembre).

- **1799** ^(P) Tratado de alianza defensiva entre Gran Bretaña y Turquía (5 de enero). // Fuerzas británicas desembarcaron en Den Helder, Norte de los Países Bajos, y se apoderaron de trece barcos de guerra neerlandeses (27 de agosto). // La flota holandesa se rindió ante la escuadra del Teniente General (*Vice-Admiral*) Andrew Mitchell (30 de agosto). // Napoleón Bonaparte, Primer Cónsul de Francia (9 de noviembre / 18 de brumario).
- **1800** ^(P) Los británicos apresaron los dos navíos de línea franceses que habían escapado de la Batalla del Nilo, el barco de 74 cañones *Genereux* y el de 80 *Guillaume Tell*, en proximidades de Malta (18 de febrero y 31 de marzo). // Malta, que había sido tomada por Napoleón Bonaparte en 1798 y se encontraba bloqueada por los británicos, fue finalmente rendida (4 de septiembre).
^(T) El estadounidense Robert Fulton (1765-1815) construyó el submarino *Nautilus*, que probó al año siguiente en Brest, Francia. // El inglés Richard Trevithick (1771-1833) construyó una máquina de vapor de alta presión.
- **1801** ^(P) Embargo británico sobre barcos rusos, daneses y suecos (28 de enero). // España proclamó la guerra contra Portugal (27 de febrero). // Batalla de Copenhague, en la que parte de la flota del Capitán General (*Admiral*) Sir Hyde Parker, al mando de Nelson, atacó y rindió a las fuerzas navales y terrestres localizadas en el puerto de la ciudad danesa (2 de abril). // Convención entre Gran Bretaña y Rusia (17 de junio). // Los franceses se apoderaron del navío británico de 74 cañones *Swiftsure*. // El Jefe de Escuadra Sir James de Saumarez atacó un escuadrón francés al mando del Capitán General (*Vice-Amiral*) Linois frente a Algeciras, Andalucía, debiéndose retirar hacia Gibraltar (perdieron el navío de línea de 74 cañones *Hannibal*). Días después, de Saumarez volvió a enfrentarse y venció a los franceses, que habían combinado fuerzas con una escuadra española; un navío francés fue capturado (6 y 12 de julio). // Tratado entre Francia y Portugal (29 de septiembre).
- **1802** ^(P) Paz de Amiens, celebrada entre Gran Bretaña, Francia, España y los Países Bajos (27 de marzo).
^(T) Henry Maudslay (1771-1831) inventó más de 40 tipos de máquinas para la producción en serie de motonería (en base a los trabajos de los Taylor).
- **1803** ^(P) Guerras Napoleónicas (1803-1815). Gran Bretaña le declaró la guerra a Francia (16 de mayo).

- (T) El inglés Arthur Woolf (1766-1837) fabricó una máquina de vapor compuesta de alta presión.
- **1804** (P) Convenio de neutralidad entre Francia y Portugal (19 de marzo). // Los británicos recobraron Gorea, que había caído en manos francesas (8 de marzo). Hood capturó Surinam (5 de mayo). // Napoleón Bonaparte es coronado emperador de Francia (2 de diciembre). // Guerra entre Gran Bretaña y España (14 de diciembre).

(T) Los franceses, luego de tomar Hannover, obtuvieron la costosa máquina perforadora (*boring machine*) de la fundición de hierro local (enero). // El inglés Arthur Woolf (1766-1837) fabricó una máquina de vapor compuesta de alta presión.
 - **1805** (P) El Teniente General británico (*Vice-Admiral*) Robert Calder tuvo un enfrentamiento con la flota combinada franco-española, al mando del Teniente General francés (*Vice-Amiral*) Villeneuve, frente a Finisterre, durante el cual dos navíos de línea españoles fueron apresados (22 de julio). // Tratado de alianza entre Francia y Baden (5 de septiembre). // Tratado de neutralidad entre Francia y las Dos Sicilias (21 de septiembre). // Tratado de alianza entre Francia y Wurtemberg (5 de octubre). // La flota combinada, bajo órdenes de Villeneuve, se enfrentó a la flota británica comandada por Nelson en la Batalla de Trafalgar, frente a Cabo Trafalgar, Andalucía; numerosos barcos franceses y españoles fueron capturados. Fue el último desafío naval de magnitud durante el imperio de Napoleón Bonaparte (21 de octubre). // El Capitán de Navío (*Captain*) Sir John Strachan capturó cuatro navíos de línea franceses frente a Cabo Ortegal, Galicia (4 de noviembre).
 - **1806** (P) El Brigadier británico Sir Home-Popham tomó nuevamente Colonia del Cabo, que había sido devuelta a los holandeses (12 de enero). // El Teniente General (*Vice-Admiral*) Duckworth enfrentó a una escuadra francesa y capturó tres navíos de línea frente a Santo Domingo, Antillas Mayores (6 de febrero). // La flota británica de William Beresford desembarcó e invadió Buenos Aires (25-27 de junio).

(T) Francesc Santponç (1756-1821) culminó la construcción de una máquina de vapor de doble efecto.
 - **1807** (P) Guerra Anglo-Turca (1807/9). Sir Duckworth entró a los Dardanelos pero fue obligado a retirarse hacia el Mediterráneo luego de ser atacado por los turcos

desde tierra, frente a Constantinopla (19 de febrero). // Tropas británicas comandadas por John Whitelocke desembarcaron e invadieron Buenos Aires (28 de junio – 5 de julio). // Tratados de paz y de alianza defensiva y ofensiva entre Francia y Rusia, y Francia y Prusia (7 y 9 de julio). // La flota de Lord James Gambier bombardeó Copenhague (2 a 5 de septiembre). // La flota danesa se rindió ante los británicos, que se hicieron de dieciocho navíos de línea; sólo cuatro fueron puestos al servicio de Su Majestad (7 de septiembre).

- **1808** ^(P) Napoleón Bonaparte invadió España (febrero). Inicio de la Guerra de la Independencia Española (1808-1813) // El Jefe de Escuadra Sir Alexander Cochrane atacó a la flota francesa del Atlántico que estaba anclada en Basque Roads, Aix, costa Oeste de Francia (11 de abril).
^(T) Cierra la mayoría de las escuelas técnicas de España (las actividades se reanudan una vez finalizada la guerra).
- **1809** ^(P) El Capitán (*Captain*) capturó Cayena, Antillas Menores, que estaba en manos de los franceses (14 de enero). // Lord Cochrane y el Teniente General (*Lieutenant-General*) George Beckwith tomaron Martinica, Antillas Menores (24 de febrero). // Infructuosa expedición británica a Walcheren, Zelanda, Países Bajos, contra la flota francesa; las tropas de Lord Chatham, transportadas por la flota al mando del Jefe de Escuadra Sir John Strachan, tomaron Flesinga (*Vlissingen*) pero sufrieron numerosas bajas durante la campaña y no alcanzaron a enfrentar la flota enemiga (28 de julio a septiembre).
- **1810** ^(P) La Isla holandesa de Ambon (antiguamente Amboina), Islas Molucas, Indonesia, fue tomada por el Jefe de Escuadra William Drury (16 de febrero). // El Capitán (*Captain*) Christopher Cole se apoderó de la guarnición holandesa ubicada en la Isla Banda Neira, en las Molucas (9 de agosto). // Los franceses vencieron a los británicos en la Batalla de Grand Port (*Isle de France*, actual República de Mauricio), en la que destruyeron dos fragatas y capturaron otro par (20 al 26 de agosto).
- **1811** ^(P) El Capitán (*Captain*) William Hoste venció a una superior escuadra franco-veneciana en la Batalla de Lissa, frente a la isla homónima del Mar Adriático, y logró capturar a dos fragatas (13 de marzo). // El Brigadier Robert Broughton y el Teniente General (*Lieutenant-General*) Samuel Auchmuty, siguiendo los

planes de Drury, lograron que los holandeses rindieran la isla de Java (27 de agosto).

- **1812** ^(P) Guerra de Gran Bretaña con los Estados Unidos de Norteamérica.
^(T) Robert Simmons publicó *The Sea-Gunner Vade-Mecum*.
- **1813** ^(P) Una escuadra estadounidense al mando del Brigadier Oliver Perry venció a una fuerza naval británica en el Lago Erie, Grandes Lagos (10 de septiembre).
- **1814** ^(P) Tratado de alianza entre España y Prusia (20 de enero). // La ciudad de Washington fue capturada por el Jefe de Escuadra George Cockburn y el General Robert Ross (24 de agosto). // El escuadrón estadounidense al mando de Capitán (*Captain*) Thomas Macdonough venció a un escuadrón británico bajo las órdenes de Brigadier George Downie en la Batalla del Lago Champlain, entre Nueva York y Vermont (11 de septiembre). // Los británicos vencieron a los estadounidenses en un combate con cañoneras en el Lago Borgne, Luisiana (14 de diciembre).
- **1815** ^(P) Tratado de secreto entre Gran Bretaña, Austria-Hungría y Francia contra Prusia y Rusia (3 de enero). // Batalla de Waterloo y Cuádruple Alianza entre Gran Bretaña, Austria, Prusia y Rusia (Tratado de París). Derrota de Bonaparte y fin de las Guerras Napoleónicas (20 de noviembre). // Paz con los Estados Unidos de Norteamérica.

Anexo 3

AUTORIDADES NAVALES, 1751-1815

Gran Bretaña¹

Jorge II, 1727-1760

- ANSON, George (Almirante, 1er. Barón Anson), junio de 1751 a noviembre de 1756.
- GRENVILLE, Richard (2do. Conde Temple), noviembre de 1756 a abril de 1757.
- FINCH, Daniel (8vo. Conde de Winchilsea), abril de 1757 a julio de 1757.
- ANSON, George (Almirante, 1er. Barón Anson), julio de 1757 a junio de 1762.

Jorge III, 1760-1820

- ANSON, George (Almirante, 1er. Barón Anson), últimos dos años de su cargo.
- MONTAGU, George (3er. Conde de Halifax), junio de 1762 a octubre de 1762.
- GRENVILLE, George (Honorable), octubre de 1762 a abril de 1763.
- MONTAGU, John (4to. Conde de Sandwich), abril de 1763 a septiembre de 1763.
- PERCEVAL, John (2do. Conde de Egmont), septiembre de 1763 a septiembre de 1766.
- SAUNDERS, Charles (Vicealmirante, Caballero), septiembre de 1766 a diciembre de 1766.
- HAWKE, Edward (Almirante de la Flota, Caballero), diciembre de 1766 a enero de 1771.
- MONTAGU, John (4to. Conde de Sandwich), enero de 1771 a marzo de 1782.
- KEPPEL, Augustus (Almirante, Honorable, luego 1er. Vizconde de Keppel), abril de 1782 a diciembre de 1783.
- HOWE, Richard (Almirante, 1er. Vizconde Howe), diciembre de 1783 a julio de 1788.
- PITT, John (2do. Conde de Chatham), julio de 1788 a diciembre de 1794.
- SPENCER, George John (2do. Conde Spencer), diciembre de 1794 a febrero de 1801.
- JERVIS, John (Almirante, 1er. Conde de St. Vincent), febrero de 1801 a mayo de 1804.
- DUNDAS, Henry (1er. Vizconde Melville), mayo de 1804 a mayo de 1805.

¹ En base a Rodger (2006:630). Esta obra contiene, además, el listado de nombres de otras autoridades de la Real Armada Británica. Para mayor información sobre los miembros que pertenecían al Consejo de Almirantazgo, consultar la lista *Lord High Admiral and Commissioners of the Admiralty 1660-1870*, publicada en Sainty (1975:18-31).

- MIDDLETON, Charles (Almirante, 1er. Lord Barham), mayo de 1805 a febrero de 1806.
- GREY, Charles (Honorable, luego Vizconde Howick), febrero de 1806 a septiembre de 1806.
- GRENVILLE, Thomas, septiembre de 1806 a abril de 1807.
- PHIPPS, Henry (1er. Lord Mulgrave) abril de 1807 a mayo de 1810.
- YORKE, Charles Philip, mayo de 1810 a marzo de 1812.
- DUNDAS, Robert (2do. Vizconde Melville), marzo de 1812 a mayo de 1827.

Francia²

Antiguo Régimen (bajo Luis xv)

- ROUILLÉ, Antoine-Louis, mayo de 1749 a julio de 1754.
- MACHAULT, Jean-Baptiste, julio de 1754 a febrero de 1757.
- PIERENNE DE MAURAS, François-Maurice, febrero de 1757 a mayo de 1758.
- DE MASSIAC, Claude-Louis, junio de 1758 a octubre de 1758.
- BERRYER, Nicolas-René, noviembre de 1758 a octubre de 1761.
- CHOISEUL D'AMBOISE, Étienne-François, octubre de 1761 a abril de 1766.
- CHOISEUL, duque de Praslin, César-Gabriel, abril de 1766 a diciembre de 1770.
- ABBÉ TERRAY, Joseph-Marie, diciembre de 1770 a abril de 1771 (Controlador General de Finanzas, encargado interino de la Secretaría de Estado de la Marina de Guerra).
- BOURGEOIS DE BOYNE, Pierre-Étienne, abril de 1771 a julio de 1774.

Antiguo Régimen (bajo Luis xvi)

- TURGOT, Antoine-Robert-Jacques, julio de 1774 a agosto de 1774.
- DE SARTINE, Antoine-Raymond-Jean-Gilbert-Gabriel, agosto de 1774 a octubre de 1780.
- DELACROIX, marqués de Castries, Charles-Eugène, octubre de 1780 a agosto de 1787.
- MONTMORIN DE SAINT-HÉREM, agosto de 1787 a diciembre de 1787 (interino).
- DE LA LUZERNE, César-Henri, diciembre de 1787 a octubre de 1790.³

Revolución (bajo Luis xvi)

- CLARET DE FLEURIEU, Charles-Pierre, octubre de 1790 a mayo de 1791.
- THÉVENARD, Antoine Jean-Marie (Vicealmirante), mayo de 1791 a septiembre de 1791.
- DELESSART, septiembre de 1791 a octubre de 1791 (interino).

² En base a Chassériau (1845:668-672).

³ Zanco (2011) mencionó a Arnaud de Laporte como Secretario de Estado de la Marina entre el 13-7-1789 y el 16-7-1789 (ínterin de los dos períodos en que De La Luzeme se desempeñó en el cargo).

- BERTRAND DE MOLLEVILLE, Antoine-François, octubre de 1791 a marzo de 1792.
- LACOSTE, Jean, marzo de 1792 a julio de 1792.
- VIZCONDE DUBOUCHAGE, François-Joseph (Teniente General), julio a agosto de 1792.

Convención Nacional (Primera República)

- MONGE, Gaspard, agosto de 1792 a abril de 1793.
- DALBARADE, Jean, abril de 1793 a julio de 1795 (Ministro y luego Comisionado de la Marina de Guerra y las Colonias, Commissaire de la Marine et des Colonies).
- REDON DE BEAUPRÉAU, Jean-Claude, julio de 1795 a noviembre de 1795 (Comisionado de la Marina de Guerra y las Colonias).

Directorio (Primera República)

- CONDE TRUGUET, Laurent-Jean-François (Almirante), noviembre de 1795 a julio de 1797 (Ministro de la Marina de Guerra y las Colonias).
- PLÉVILLE LE PELLEY, Georges-René (Vicealmirante), julio de 1797 a abril de 1798.
- BRUIX, Étienne (Vicealmirante), abril de 1798 a junio de 1799.⁴
- BOURDON DE VATRY, Marc-Antoine, junio de 1799 a noviembre de 1799.

Consulado y Primer Imperio Francés (bajo Napoleón Bonaparte)

- BOURDON DE VATRY, Marc-Antoine, últimos días de su cargo.
- FORFAIT, Pierre-Alexandre-Laurent, noviembre de 1799 a octubre de 1801.
- DUQUE DECRÈS, Denis (Vicealmirante), octubre de 1801 a marzo de 1814.

Primera Restauración (bajo Luis XVIII)

- MALOJET, Pierre-Victor, abril de 1814 a mayo de 1814 (Comisionado de la Marina de Guerra y las Colonias) y mayo de 1814 a septiembre de 1814 (Secretario de Estado del Departamento de la Marina de Guerra y las Colonias).
- BEUGNOT, Jacques-Claude, diciembre de 1814 a marzo de 1815.

Cien Días (bajo Napoleón Bonaparte y su hijo, Napoleón II)

- DUQUE DECRÈS, Denis (Vicealmirante), marzo de 1815 a julio de 1815.

⁴ Zanco (2011) citó a otros dos responsables del cargo, entre Bruix y de Vatry: Lambrechts, Charles Joseph M., 4-3-1799 al 7-3-1799; y de Talleyrand-Périgord, Charles-Maurice, 7-3-1799 al 2-7-1799.

España⁵

Fernando VI, 1746-1759

- MARQUÉS DE LA ENSENADA, Zenón de Somodevilla y Bengoechea, 1743 a 1754 (asumió durante el reinado de Felipe V).
- ARRIAGA Y RIVERA, Julián de, 1754 a 1776.

Carlos III, 1759-1788

- ARRIAGA Y RIVERA, Julián de, continuó en el cargo que ocupó con Fernando VI.
- GONZÁLEZ DE CASTEJÓN Y SALAZAR, Pedro, 1776 a 1783.
- VALDÉS Y BAZÁN, Antonio, 1783 a 1795.

Carlos IV, 1788-1808

- VALDÉS Y BAZÁN, Antonio, en actividad durante los últimos años de Carlos III, hasta noviembre de 1795.
- VARELA ULLOA, Pedro de, entre 1795 y 1796.
- LÁNGARA Y HUARTE, Juan Francisco de, entre 1796 y enero de 1799
- CABALLERO, José Antonio, entre 1799 y 1802.
- PÉREZ DE GRANDALLANA Y SIERRA, Domingo, entre abril de 1802 y febrero de 1805.
- GIL DE TABOADA LEMOS Y VILLAMARÍA, Francisco, entre abril de 1805 y junio de 1808.

José I Bonaparte, 1808-1814

- MAZARREDO Y SALAZAR, José de, entre junio de 1808 y julio de 1812.
- ESCAÑO GARCÍA DE CÁCERES, Antonio de, entre octubre de 1808 y enero de 1810.
- CÍSCAR CÍSCAR, Gabriel, entre enero de 1810 y noviembre de 1810.
- VÁZQUEZ FIGUEROA, José, entre noviembre de 1810 y abril de 1813.
- OSSORIO VARGAS, Francisco de Paula, entre abril de 1813 y mayo de 1814.

Fernando VII, 1814-1833

- SALAZAR Y SALAZAR, Luis María, entre mayo de 1814 y enero de 1816.

⁵ En base a Urquijo Goitia (2008), entre otros.

Anexo 4

SISTEMAS DE PESAS Y MEDIDAS

La regularidad que rige hoy en día para las unidades de pesas y medidas no existía en el período objeto de nuestro estudio. Regía una multiplicidad de sistemas, incluso al interior de cada país. Recordemos que el sistema métrico (luego denominado Sistema Internacional de Unidades, en adelante SI), fue adoptado internacionalmente por primera vez hacia finales del siglo XIX.

En Inglaterra, los sistemas de pesas y medidas estaban basados fundamentalmente en leyes promulgadas por la Corona. Aunque existían sistemas particulares en las ciudades y condados, su empleo no estaba aceptado oficialmente, lo cual favoreció cierta uniformidad a nivel nacional. En Francia, cada localidad mantenía su propio sistema de pesas y medidas, aunque las principales ciudades adoptaron aquellos que servían a la mayoría. El gobierno operó en el mismo sentido, a fin de afrontar sus necesidades militares, académicas y burocráticas. En 1791 se presentó la primera versión oficial de un sistema nacional de pesas y medidas, aunque no fue sino hasta 1840 que se promulgó oficialmente el sistema métrico (véase Ross 1983). En España puede decirse que la situación fue aún más compleja que en los anteriores estados. Además de los sistemas propios, entre los que destacan las pesas y medidas de Castilla (marco y vara), durante muchos años se utilizaron las unidades de masa y longitud del sistema francés (i.e. *livres* y *pie du roi*).

Debido a que las diferencias entre un sistema y otro no eran menores, deben ser seriamente consideradas en cualquier trabajo de carácter histórico a fin de evitar errores interpretativos. En la presente investigación fue esencial identificar adecuadamente las unidades empleadas, en especial a la hora de realizar

comparaciones entre un país y otro. Por ello, dedicamos las líneas que siguen a presentar de forma sintética las principales unidades de masa y longitud, según el sistema de pesas y medidas empleado en cada país (o dentro de cada industria en particular), que son mencionadas a lo largo de la tesis. Para evitar generar confusiones, en varias ocasiones consideramos pertinente aclarar las unidades en que se encontraban originalmente los valores citados. Para mayor claridad en la exposición, en varios sectores del escrito incluimos además las equivalencias correspondientes al SI. Abajo mencionamos su correspondencia con cada unidad de los sistemas de interés. Las unidades utilizadas en la actualidad fueron expresadas de acuerdo con lo establecido por el International Bureau of Weights and Measures (2006). La información que sigue fue compilada principalmente a partir del trabajo de Ross 1983.¹

Unidades de masa

En Inglaterra, los sistemas de unidades de masa empleados fueron dos: el sistema *Avoirdupois*, en el que la libra (*pound*, lb) de 16 onzas equivalía a 7.000 granos, i.e. 453,6 gramos; y el sistema *Troy*, en el que la libra Troy (*Troy pound*) de 12 onzas equivalía a 5.760 granos Troy (*Troy grains*), i.e. 373,248 gramos. Otros sistemas que se emplearon para el manejo de productos específicos, tales como el *Avoirdupois Gunpowder* y el *Apothecary*, estuvieron basados en los dos primeros, respectivamente. Otras dos unidades muy empleadas en el ámbito naval fueron la arroba (*quarter*, qtr) y el quintal (*hundredweight*, cwt), equivalentes una y otra a 28 libras y 112 libras, i.e. 12,7008 kg y 50,8032 kg. La tonelada (*ton*, t) equivalía a 20 quintales o 2.240 libras, i.e. 1.016 kg.

En Francia se emplearon los siguientes sistemas de unidades de masa: el *Marc de Troyes*, donde la libra (*livre*) equivalía a 489,41 gramos; y el *Pharmaceutique*, con una *livre de pharmacie* de 5.760 granos, i.e. 367,14 gramos. Este último fue reemplazado en algún momento luego de 1791 por el sistema *Premier Métrique Pharmaceutique*, con una libra de 512 gramos. Los dos últimos se reservaron con

¹ Para profundizar el conocimiento acerca de los sistemas decimal y docial (duodecimal), consultar a Pujals de la Bastida (1862).

exclusividad para los productos farmacéuticos, mientras que el primero se empleó para todos los demás. La tonelada francesa equivalía a 2.000 libras, i.e. 978,82 kg.

En España, las unidades de masa más utilizadas (al menos dentro de los ámbitos que analizamos) fueron las libras y quintales castellanos. La primera equivalía a 460,095 g, mientras que la segunda representaba 100 libras, i.e. 46,0095 kg. La tonelada característica equivalía a 20 quintales o 2.000 libras, i.e. 920,19 kg. A partir de la implementación del SI, también se utilizó la tonelada métrica, i.e. 1.000 kg.

En el trabajo de Rovira figura una relación entre el peso inglés y el francés de 63 a 69 (Rovira 1773:110). En la *Cartilla práctica* de O'Scanlan, encontramos las siguientes relaciones entre las diferentes libras: la inglesa y la castellana tienen una relación de 139 a 140, y esta última con la francesa de 14 a 15 (O'Scanlan 1847:172). Estas relaciones no son más que aproximaciones; las diferencias entre ellas y con respecto a los valores expuestos más arriba dejan entrever las discrepancias de criterio que existían en aquel entonces con respecto al peso de cada una de las unidades en cuestión.

Unidades de longitud

En Inglaterra se utilizó el sistema linear estándar primario o inglés, entre los años 1305 y 1826. Tuvo como unidad básica al pie (*foot*) y estaba subdividido en varias unidades (entre las principales): 12 pulgadas (*inchs*) o 120 líneas (*lines*). Cada una de éstas equivalía a 30,48 cm, 2,54 cm y 2,54 mm, respectivamente.

En Francia, el sistema se basó en el pie de Rey (*pied du roi*, que equivalía a 12 *pouces*), que estuvo vigente entre los años 1668 y 1840. Las subunidades eran: 1 pulgada (*pouce*) = 12 líneas (*lignes*) = 144 puntos (*points* o *douzièmes*). Las equivalencias son las siguientes: 1 pie de Rey (32,484 cm); 1 pulgada (27,07 mm); 1 línea (2,256 mm); 1 punto (0,188 mm).

En España estuvieron vigentes las medidas legales de Castilla, basadas en la vara de Burgos (que equivalía a 3 pies). Las otras subunidades eran: 1 pulgada = 12 líneas = 144 puntos. Cabe notar que antes del año 1783 también se empleó el pie

de Rey de París (Torrejón Chaves 1997:312). Las equivalencias son las que siguen: 1 vara (0,8359 m), 1 pie (27,86 cm), 1 pulgada (23,218 mm), 1 línea (1,934 mm) y 1 punto (0,161 mm).

Según lo expuesto por O'Scanlan, el pie de Londres tenía con el de Burgos una relación de 35 a 32, y este último con el de París de 6 a 7 (O'Scanlan 1847:213).

Anexo 5

CUESTIONES ESPECÍFICAS DE LA ARTILLERÍA

En este anexo damos cuenta razonada del peso de los barcos de madera y su artillería. Muchos de los objetos que eran llevados a bordo (o que formaban parte de la estructura del casco, e.g. la pernería y clavazón) eran considerados por peso. Por ello, a continuación expresamos además el peso de otros insumos y pertrechos de interés, que mencionamos en varias secciones de la tesis. Los valores se expresan en las unidades consignadas en los escritos de donde se tomó la información. Seguido, expondremos el método empleado para determinar el diámetro de las balas rasas, junto con algunas consideraciones acerca de las diferencias entre las municiones de diversa procedencia.

Peso de un navío de 70 cañones

En el anexo No. 6 de su *Cartilla práctica*, O'Scanlan listó el peso de un navío, según lo propuesto por Francisco Gautier (O'Scanlan 1829:187; el subrayado es nuestro).

<i>Casco, artillería, equipamiento, tripulación, &c.</i>	<i>Toneladas</i>
Barco (en rosca)	1.550
Artillería montada	160 y $\frac{3}{4}$
Arboladura	48 y $\frac{2}{3}$
Aparejo	189
Pólvora	15
Balas	42 y $\frac{1}{3}$
Víveres para 550 hombres (provisión para cuatro meses)	300
Pertrechos	53
Anclas	18 y $\frac{1}{4}$
Armas	2
Velamen de respeto	8
Peso de la gente con su ropa	56
Rancho del capitán y equipaje de los oficiales	42
Lastre	315
<i>Total</i>	2.800 (Fr.)
	2.968 (Esp.)

En breve, el peso de la artillería (contando las municiones) era ca. 7 % del total del barco.

El coste era, relativamente, muy superior. Para brindar una idea aproximada del valor que tenían los cañones, el cureñaje, la pólvora y las balas, basta con mencionar que, en la década de 1780, un navío español de tres puentes, pertrechado y forrado en cobre, costaba 3.700.000 reales de vellón. Un tercio de ese total correspondía a la artillería llevada a bordo (Torrejón Chaves 1997:313).

Peso y diámetro de las balas rasas

El calibre de una boca de fuego guardaba relación con el diámetro que en teoría debía tener una bala de hierro macizo de cierto peso, y es por ello que le daba título al calibre del cañón. Esto llevó a que la clasificación de los cañones hiciera referencia al peso de la bala que disparaban. Veamos entonces cómo se obtenía el diámetro de las balas, según los valores reglamentarios.

Conociendo el peso (requerido) de la bala y el peso específico del material empleado (en el siglo XVIII y XIX su valor yacía dentro de cierto rango, según la procedencia del hierro colado), puede conocerse su diámetro. Teniendo en cuenta que el peso específico de un cuerpo está dado por la relación entre su peso y volumen, a saber:

$$\gamma = \frac{P}{V}$$

...podemos despejar el volumen del cuerpo:

$$V = \frac{P}{\gamma}$$

Si aplicamos la fórmula del volumen de la esfera (que, en este caso, sería la bala), la cual responde a:

$$V = \frac{4}{3} \times \pi \times r^3$$

...y sabiendo además que:

$$D = 2 \times r$$

...despejamos el diámetro de la bala del siguiente modo:

$$V_{\text{bala}} = \frac{P}{\gamma} = \frac{4}{3} \times \pi \times r_{\text{bala}}^3 \Rightarrow$$

$$r_{\text{bala}} = \sqrt[3]{\left(\frac{3}{4} \times \pi \times \frac{P_{\text{bala}}}{\gamma_{\text{hierro colado}}}\right)} \Rightarrow$$

$$D_{\text{bala}} = 2 \times \sqrt[3]{\left(\frac{3}{4} \times \pi \times \frac{P_{\text{bala}}}{\gamma_{\text{hierro colado}}}\right)}$$

Para presentar con claridad el argumento, pongamos como ejemplo el caso de una bala de 1 libra (en el caso de Inglaterra, esta equivalía a 453,6 g) y consideremos tentativamente para el hierro colado un peso específico de 7,425 g/cm³ (según lo expresó Muller 1768:2), valor conocido que se obtenía de forma experimental.

$$P_{\text{bala}} = 453,6 \text{ g}$$

$$\gamma_{\text{bala}} = 7,425 \text{ g/cm}^3$$

Por lo dicho hasta ahora, el diámetro de la bala de las características citadas estaría dado por:

$$D_{\text{bala de 1}} = 2 \times \sqrt[3]{\left(\frac{3}{4} \times \pi \times \frac{453,6 \text{ g}}{7,425 \text{ g/cm}^3}\right)} \Rightarrow$$

$$D_{\text{bala de 1}} = 4,886 \text{ cm}$$

Esta misma operación puede repetirse para calcular el diámetro de las balas para los demás pesos reglamentarios. Alternativamente, tomando esta bala como patrón, puede utilizarse la proporción que establece que los volúmenes de dos esferas son directamente proporcionales a los cubos de sus diámetros:

$$\frac{V_{\text{bala de } \alpha}}{V_{\text{bala de } \beta}} = \frac{D_{\text{bala de } \alpha}^3}{D_{\text{bala de } \beta}^3}$$

...siendo α y β el peso de las balas, en libras.

Si reemplazamos los volúmenes por su fórmula equivalente en peso y peso específico del material (y suponiendo que este es igual en ambos casos), nos quedaría la siguiente expresión:

$$D_{\text{bala de } \beta} = \sqrt[3]{\frac{(D_{\text{bala de } \alpha}^3 \times P_{\text{bala de } \beta})}{P_{\text{bala de } \alpha}^3}}$$

Así entonces, conociendo el peso de ambas (α y β) y el diámetro de la de α (que se considera como patrón), se obtiene el diámetro de la de β . Dado que este era el razonamiento que se empleaba en la época que nos ocupa, aunque partiendo de un punto diferente, lo describiremos con un caso concreto.

Según Rovira, para armar las tablas de los diámetros de las balas y bocas de fuego, se empleaba una bala cuyo diámetro y peso se tomaban como referencia. A partir de esta, podía calcularse el diámetro de una bala cualquiera, aplicando la conocida proporción de los cubos de los diámetros.¹ Pero había varias opiniones sobre el justo diámetro de una bala de determinado peso. Este autor dijo que en las Academias de España se utilizaba como modelo la bala de 1 libra de 16 onzas (diferente a la docial, que tenía 12 onzas) de 1 pulgada, 10 líneas y 6 puntos del pie de Rey (medida francesa, equivalente a 50,758 mm), que fue empleado para los

¹ El diámetro de la bala y el calibre de la pieza también podía obtenerse mediante la aplicación de relaciones geométricas (véase Rovira 1773:37,38).

Reglamentos de los años 1728 y 1752. Para realizar el del año 1765, en cambio, se tomó como principio que el diámetro de la bala de 4 libras (64 onzas) era 3 pulgadas del pie de Rey (i.e. 81,21 mm) (Rovira 1773:29).

Ejemplificaremos a continuación lo expuesto por Rovira. Aquí abreviamos y exponemos de un modo más inteligible su sistema, pero recomendamos consultarlo directamente para obtener mayor precisión en el asunto. Buscaremos hallar el diámetro para una bala de 8 libras utilizando como patrón la de 4. Emplearemos los datos conocidos de estas balas en la última fórmula:

$$D_{\text{bala de 8}} = \sqrt[3]{\frac{(D_{\text{bala de 4}})^3 \times P_{\text{bala de 8}}}{P_{\text{bala de 4}}}} \Rightarrow$$

$$D_{\text{bala de 8}} = \sqrt[3]{\frac{(3 \text{ pulgadas})^3 \times 8 \text{ libras}}{4 \text{ libras}}} \Rightarrow$$

$$D_{\text{bala de 8}} = 3,779 \text{ pulgadas} \approx 102,29 \text{ mm}$$

A los fines del cálculo, es lo mismo decir que el diámetro de una esfera aumenta o disminuye a razón de la raíz cúbica de n , siendo n el número de veces en que aumenta o disminuye su peso, a saber:

$$D_{\text{bala de } \beta} = D_{\text{bala de } \alpha} \times \sqrt[3]{\frac{P_{\beta}}{P_{\alpha}}} \Rightarrow$$

$$D_{\text{bala de } \beta (\alpha \times n)} = D_{\text{bala de } \alpha} \times \sqrt[3]{n}$$

Es decir que n indica la relación de volumen de las dos balas, y su raíz cúbica es la proporción en que aumentó el diámetro de una con respecto al de la otra. Entonces, partiendo de una bala de diámetro y peso conocidos (α), es factible obtener el diámetro de las demás balas.

Volvamos a nuestro ejemplo de la bala de 1 libra, para la que ya obtuvimos su diámetro. Partiendo de esta, obtendremos el diámetro de una bala de 2 libras de la siguiente forma:

$$D_{\text{bala de 2}} = D_{\text{bala de 1}} \times \sqrt[3]{\frac{P_{\text{bala de 2}}}{P_{\text{bala de 1}}}} \Rightarrow$$

$$D_{\text{bala de 2}} = 4,886 \text{ cm} \times \sqrt[3]{\frac{2 \text{ libras}}{1 \text{ libra}}} \Rightarrow$$

$$D_{\text{bala de 2}} = 6,156 \text{ cm}$$

Siguiendo este criterio podía calcularse el diámetro de las balas para el resto de los calibres reglamentados.

Por extensión podía calcularse el calibre de las piezas. Ahora bien, el diámetro de las balas (que para algunos también se denominaba calibre) debía ser inferior al diámetro del ánima del cañón en el que se cargaban. El huelgo entre ambos se denominaba viento (*windage / vent*) y solía estar dado por una fracción del diámetro de la bala. Esta diferencia debía ser suficiente para que esta pudiera entrar fácilmente y que no se atascara al efectuarse el disparo, o que perdiera velocidad debido al rozamiento, pero no tan grande como para que el impulso de la explosión de la pólvora se perdiera. Rovira comentó que no había acuerdo sobre el viento que debía tomarse. Algunos, según este autor, proponían dividir el diámetro de la bala en 21 partes, de modo que 22 de estas mismas partes fueran el calibre; otros, y esto era lo que se estilaba hacer, daban a la bala un viento de un tanto por ciento de su tamaño. No obstante, las voces tampoco coincidían respecto al porcentaje que debía dejarse. Para Rovira, el calibre estaba dado por una relación de 1,12 veces el volumen de la bala, i.e. para obtener el diámetro del ánima era necesario aumentar el cubo del diámetro de la bala en razón de un 12% (y luego hacer la raíz cúbica de este valor) (Rovira 1773:32,33).²

² Para calcular el diámetro de otros tipos de munición (i.e. metralla y palanquetas) se seguía un procedimiento semejante, aunque había consideraciones adicionales respecto de la relación de tamaño que guardaba con el calibre de la pieza (véase Rovira 1773:37).

Volviendo a la cuestión del peso de las balas, es importante señalar que este solía no coincidir con lo que expresaba su título. Ello se debía a que, en la práctica, el peso de las balas (de un mismo diámetro) podía variar según el peso específico del hierro empleado para su manufactura. Asimismo, si comparásemos las balas de un mismo diámetro y de diferente procedencia (aunque tuvieran el mismo peso específico, que no era el caso), encontraríamos discrepancias entre ellas. Las diferencias que existían entre la libra inglesa, francesa y española (en especial entre la primera y la segunda, que también se empleó en España), se traducían en que las balas inglesas de 24 libras no pesaban lo mismo que las francesas de semejante título (el diámetro que debían tener, por consiguiente, tampoco era el mismo).

En el caso de Francia, durante gran parte de la década de 1750 estuvieron vigentes las ordenanzas del año 1732. Están reflejadas en la *Enciclopedia* de Diderot y d'Alembert (1767), donde se especifica el diámetro en *livres* y unidades de longitud del pie de Rey que debían tener las balas de hierro para un determinado calibre de cañón (sección *Fonderie des Canons*, pp. 14): 24 *livres* (5 *pouces*, 5 *lignes*, 4 *douzièmes*, ca. 14,74 cm); 16 libras (4 pulgadas, 9 líneas, 4 puntos, ca. 12,93 cm); 12 libras (4 pulgadas, 3 líneas, 11 puntos, ca. 11,71 cm); 8 libras (3 pulgadas, 9 líneas, 4 puntos, ca. 10,23 cm); 4 libras (3 pulgadas, 0 líneas, ca. 8,12 cm). Si realizamos el camino inverso al que empleamos para calcular el diámetro de las balas, podemos estimar el peso específico que debió tener el hierro colado utilizado para fabricar estas piezas, según el peso y diámetro reglamentarios. El peso específico considerado para que el diámetro de las balas de 4, 8, 12, 16 y 24 *livres* midiera lo que se expresa en la *Enciclopedia* debió ser ca. 7 g/cm³ (los valores obtenidos, en su mayoría, fueron 6,98 g/cm³). En España, siguiendo la información suministrada por Rovira para las balas entre 1 y 36 libras de peso, deducimos que el peso específico de estas (más bien, de la bala considerada como referencia, que dijimos tenía 4 libras y un diámetro de 3 pulgadas del pie de Rey) era de 6,98 g/cm³. Respecto de la bala patrón empleada por los españoles para los dos reglamentos anteriores al de 1765, el peso específico del hierro colado, dado su diámetro y peso, debió ser 7,15 g/cm³. De allí que, como notó Rovira, el diámetro de la bala considerada para sus cálculos fuera ligeramente mayor que el admitido por otros con anterioridad.

En la figura A.5.1 ilustramos las diferencias de peso y tamaño que debieron tener una bala inglesa y una francesa de 24 libras (*pounds, livres*) de la segunda mitad del siglo XVIII. En el trabajo de Sidders (1982) se pueden apreciar las diferencias que debieron tener —según los cálculos realizados por el autor— las balas de los calibres utilizados en Inglaterra, Francia y España.

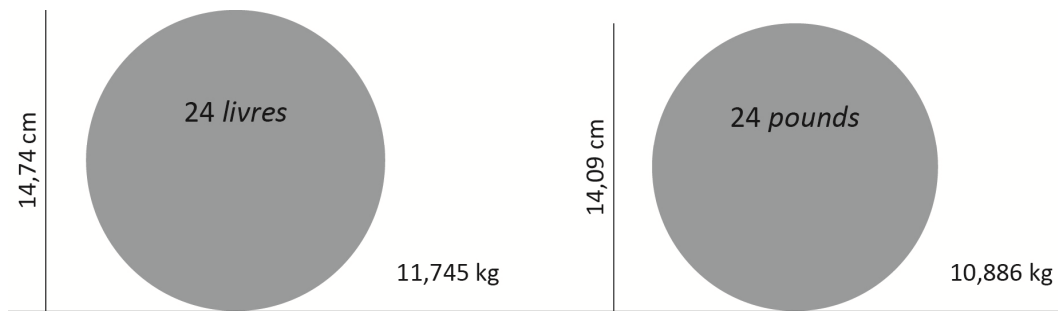


FIGURA A.5.1 – BALAS RASAS DE 24 LIBRAS.

Representación de dos balas de 24 libras, francesa (izq.) e inglesa (der.). Las diferencias de diámetro y peso se deben a las discrepancias que presentan las unidades de medida (*livres, pounds*) y el peso específico del hierro colado que se consideró en uno y otro lugar (7 g/cm^3 y $7,425 \text{ g/cm}^3$, respectivamente) para realizar los cálculos. Como resultado puede decirse que, a un mismo título (e.g. 24 libras), las balas de procedencia francesa solían ser más grandes y pesadas que las inglesas. Sidders (1982:206) arribó a esta misma conclusión práctica.

Gráfico: N. Ciarlo 2014.

Por lo dicho anteriormente, la medida más confiable para saber a qué calibre correspondía una bala (propia o ajena) era su diámetro. Este se reconocía mediante el uso de una vitola. Los efectos del deterioro superficial de las balas (que implicaban variaciones en su peso y volumen) debieron significar una complicación adicional para los marinos (Sidders 1982:203). De cualquier modo, a bordo se contaba con los medios necesarios para identificar el diámetro de las balas, incluso de aquellas que pertenecían al enemigo. En el sitio Deltebre I (1813) se halló un calibre con una escala doble, para medir piezas británicas y francesas (véase el anexo 10).

Anexo 6

ANÁLISIS DE MUESTRAS DE LA *SWIFT*

Palabras introductorias

Dedicamos este anexo a la presentación de la información recabada del análisis de algunos de los artefactos metálicos hallados en la corbeta de guerra *HMS Swift* (1763-1770). Este barco formó parte de la escuadra apostada en Puerto Egmont, primera base naval británica en las Islas Malvinas, y naufragó en la ría Deseado (Provincia de Santa Cruz) luego de encallar en una roca cercana a la costa. El sitio arqueológico fue estudiado extensivamente por el equipo del Programa de Arqueología Subacuática (PROAS) del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano (INAPL), bajo la dirección de la Dra. Dolores C. Elkin. Agradezco a ella en particular por permitirme reproducir aquí algunos datos ya publicados. Para profundizar en el conocimiento sobre este barco y las problemáticas analizadas, que incluyen aspectos relativos al diseño y construcción naval, la vida a bordo y la tecnología de la época, recomiendo la lectura del libro que compila la información recabada durante una década y media de trabajos en el sitio (Elkin et al. 2011; véanse también los trabajos más específicos citados en esta obra y aquellos mencionados a lo largo de la tesis).

En particular, aquí nos ocuparemos de exponer los resultados de la caracterización de las siguientes categorías de piezas: elementos del sistema de fondeo (ancla y rezón), achique (bomba de carena) y gobierno (caña del timón); objetos de la jarcia firme y de labor (roldanas de motones); y artillería (cañones y balas). Los métodos e instrumental de análisis utilizados fueron los siguientes: examen metalográfico mediante microscopía óptica (OM) y microscopía electrónica de barrido (SEM); determinación química por medio de espectroscopia

de rayos X dispersiva en energía (EDS), espectroscopia de rayos X dispersiva en longitud de onda (WDS), fluorescencia de rayos X dispersiva en longitud de onda (WDXRF), espectrometría de emisión óptica (OES), espectrometría de absorción atómica (AAS) y espectrometría infrarroja (IR), este último para el análisis de carbono y azufre en muestras ferrosas; y ensayo de dureza Vickers (HV).

En este caso y los que siguen, los análisis de caracterización de las muestras se realizaron bajo la supervisión general del Ing. Horacio De Rosa, director del Grupo de Arqueometalurgia (FI-UBA), como parte de la investigación de tesis (véase el capítulo 5, para mayor información sobre la preparación de las muestras, el instrumental utilizado y los laboratorios participantes).

La mayor parte de los objetos mencionados y otros pertenecientes a diferentes categorías fueron analizados por quien suscribe en el marco del trabajo de tesis de Licenciatura, bajo la dirección de la Dra. Elkin, entre los años 2005 y 2011. Los resultados obtenidos en aquel entonces se publicaron parcialmente (e.g. Ciarlo et al. 2011; De Rosa et al. 2011) y, más tarde, de modo extensivo (Ciarlo 2014a). En esta ocasión, aprovechamos el presente espacio para reproducir parte de aquella información, de utilidad para el tema del doctorado. En función de lo previsto, sumamos los datos obtenidos a partir de la realización de nuevos estudios.

Elementos de fondeo

La *Swift*, de acuerdo con sus dimensiones y la información sobre su último viaje, estaba equipada con dos anclas de leva, un ancla de esperanza, un ancla de espía y un anclote (véase el capítulo 7). Según los datos de los documentos escritos que aluden al naufragio, un ancla de leva y una de las menores fueron empleadas para intentar zafar de la varadura. La evidencia localizada en el sitio es coherente con este hecho. Con relación a ello, cabe mencionar que hacia finales de la década de 1970 se recuperó un ancla en inmediaciones de la *Swift*, que en la actualidad se exhibe en la Prefectura Nacional de Puerto Deseado. El examen de esta última pieza permitió obtener información de interés sobre la fabricación de anclas de la época y su posible relación con el naufragio.

Anclas

En el sitio fueron localizadas al menos dos anclas, que en función de sus dimensiones generales y ubicación con respecto a los restos del casco, corresponden al ancla sencilla o de cabeza (ancla de leva ubicada en proa, a babor) y ancla de espía (ubicada sobre la misma banda, a popa de la anterior). De la primera asoman sobre el sedimento el arganeo, una porción del cepo de madera y la sección superior de la caña; mientras que de la otra se observa parte de la caña, una porción del cepo y el arganeo (Fig. A.6.1). Junto a esta última, también hay un brazo, o bien de la misma pieza o bien de una tercera. Dada la proximidad de estas piezas al casco del barco, puede asumirse que ninguna de estas fue utilizada. Por otro lado, la ausencia del ancla de uso o del ajuste en la banda de estribor es consistente con la información de las fuentes documentales que hacen referencia a su empleo en momentos previos al naufragio (Elkin et al. 2011:132-134).

Las principales dimensiones relevadas *in situ* son las siguientes (extraído de Elkin et al. 2011:133):

Dimensiones	Ancla sencilla	Ancla de espía
Largo (expuesto) de la caña	350 cm	108 cm
Perímetro de la caña	54 cm	50 cm
Diámetro exterior del arganeo	66 cm	47 cm

El análisis de un ancla hallada en inmediaciones del sitio, pese a no contar con datos precisos sobre su localización —fue un hallazgo fortuito, del que se tienen pocos registros— aportó información significativa acerca de varios aspectos de interés para la presente investigación (Fig. A.6.2). La forma y dimensiones sugieren que se trata de un ancla británica del siglo XVIII, del tipo conocido en inglés como *Old Admiralty Longshank* (véase el capítulo 7). El tamaño, además, es consistente con el de las anclas de leva que llevaban las corbetas de guerra en aquella época. Por ello, y teniendo en consideración lo que mencionamos previamente con

respecto a las maniobras efectuadas antes del naufragio y la evidencia del sitio, es probable que esta pieza correspondiera al ancla del ajuste de la *Swift* (Elkin et al. 2011:135).¹



FIGURA A.6.1 – ANCLA DE ESPÍA DE LA *SWIFT*.

Vista del arganeo de una de las anclas menores localizadas en la banda de babor del barco.

Foto: S. Massaro 1999. Reproducción autorizada, cortesía del PROAS-INAPL.

¹ Durante las investigaciones realizadas en el naufragio de la fragata *HMS Sirius* (1797-1810) se halló una de las anclas de leva del barco, de 3,3 m de alto, a unos 415 m de los restos del casco. Esta ubicación responde al hecho de que el ancla fue empleada para realizar maniobras a fin de tratar de evitar la pérdida de la nave (von Arnim 1998:40). Recientemente, Williams estudió un ancla del tipo *Old Admiralty Longshank* con cable de cadena, que fue recuperada en 2014 de la Bahía Admiralty, Puget Sound, Washington, EE.UU. Esta pieza habría pertenecido al *HMS Chatham*, que el 9 de junio de 1792 perdió el ancla de espía durante las actividades de exploración de la zona (Williams 2015).

En el capítulo 7 anticipamos que el ancla presenta indicios del proceso de forja, que son apreciables en la superficie a ojo desnudo. Aquí nos interesa en particular desarrollar los aspectos relativos al material y manufactura del objeto, que aportaron información adicional para delimitar sus coordenadas espacio-temporales.²



FIGURA A.6.2 – ANCLA DE HIERRO CON CEPO DE MADERA.

Imagen del ancla recuperada en inmediaciones del sitio *Swift*, que se encuentra en la Prefectura Naval de Puerto Deseado. El ceppo de madera es una réplica.

Foto: N. Ciarlo 2009. Reproducción autorizada, cortesía del PROAS-INAPL.

A los fines propuestos, la parte superior de la caña, el extremo de uno de los brazos y el borde la uña fueron analizados por medio de OM, SEM-EDS, WDS y XRF, y sometidos a ensayo de dureza Vickers.

² Como anticipamos, la información obtenida a partir del examen metalúrgico de la pieza fue publicada en detalle previamente (Ciarlo et al. 2011).

Las características microestructurales de la porción de caña analizada indican que esta fue confeccionada con hierro de bajo contenido de carbono (Fig. A.6.3). Los granos de ferrita de tamaño heterogéneo, y las inclusiones de óxidos de hierro (wüstita) y silicatos orientados en el sentido del conformado, indican una manufactura por medio de forja. Los granos recristalizados (sin deformación) y la presencia de inclusiones de óxido globulares indican que el material estuvo sometido a altas temperaturas durante el conformado. Por otro lado, en algunos sectores también se detectaron bandas de Neumann dentro de los granos de ferrita (Fig. A.6.4). Estas sugieren que el material fue parcialmente trabajado por debajo de la temperatura normal de forja y/o a una elevada velocidad de deformación. Rasgos semejantes, registrados en la caña de una pequeña ancla de fines del siglo XVIII o principios del XIX, fueron asociados al proceso de manufactura o a las tensiones sufridas por la pieza durante su uso (Deacon 2007:22-23). La dureza de la caña en el sector analizado es 178 ± 2 HV. Dado el bajo contenido de carbono observado, esta cifra puede relacionarse con una deformación plástica durante el proceso de manufactura o con la presencia de elementos disueltos en la matriz, tales como el nitrógeno. Los análisis de XRF indicaron que el material posee bajos contenidos de fósforo (0,004 %) y azufre (0,005 %), que denotan la buena calidad del hierro empleado. Estos valores, a su vez, pueden ser considerados como indicios de la procedencia foránea del material. En el mercado europeo, así como en los arsenales navales de Inglaterra, predominó el hierro procedente de Suecia, debido a su reconocida calidad y bajo coste (véase el capítulo 7).

La muestra del brazo presenta una microestructura particular. Pueden apreciarse tres sectores, paralelos al sentido longitudinal del brazo, viz: a) formado por ferrita y perlita, con un tamaño de grano pequeño (ca. $19 \mu\text{m}$) y un porcentaje aparente de carbono de 0,15 %, el más elevado de los tres (Fig. A.6.5-a); b) constituido por ferrita, un tamaño de grano mediano (ca. $33 \mu\text{m}$) e inclusiones de óxidos de hierro (wüstita) y silicatos, orientadas en un sentido longitudinal (Fig. A.6.5-b); y c) integrado por granos de ferrita de mayores dimensiones (ca. $55 \mu\text{m}$), con bajo contenido de carbono y cementita terciaria en el borde de grano (Fig. A.6.5-c). Los sectores *a* y *c* también se diferencian con respecto al contenido de

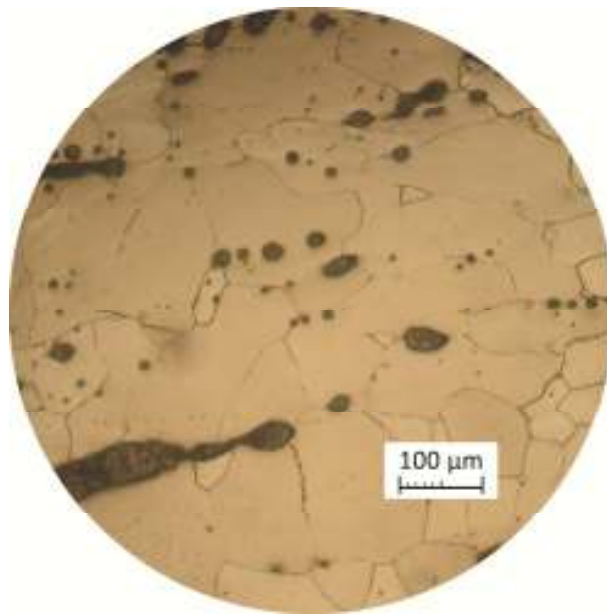


FIGURA A.6.3 – MICROESTRUCTURA DE LA CAÑA.

Fotomicrografía de la parte superior de la caña, en las que se observan las inclusiones globulares. Reactivo de ataque: Nital 3 % (NO_3H al 3 %, en alcohol etílico).

Foto: N. Ciarlo 2009.

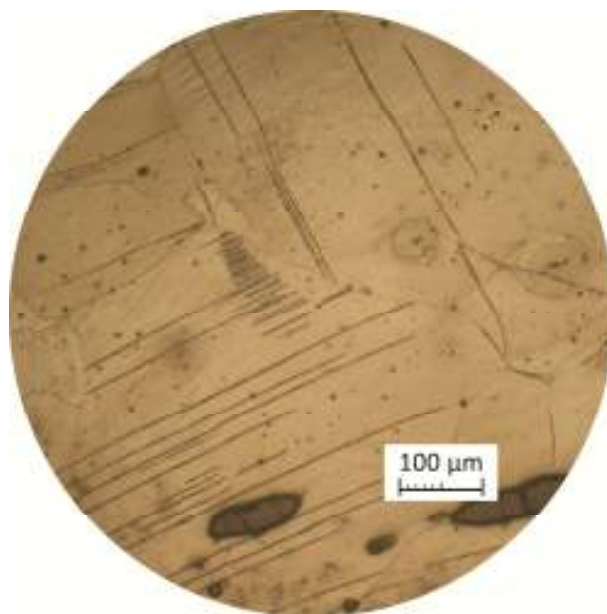


FIGURA A.6.4 – BANDAS DE NEUMANN.

Sector de la muestra en el que se aprecian bandas de Neumann dentro de los granos de ferrita. Reactivo de ataque: Nital 3 %.

Foto: N. Ciarlo 2009.

fósforo de la matriz. El análisis mediante WDS indicó que el primero contiene entre 0,1-0,3 %, mientras que el segundo entre 0,4-0,5 %. La evidencia descripta apunta a que la muestra analizada corresponde a la zona de soldadura de dos materiales de diferentes características, i.e. un par de las barras que se unían para formar el cuerpo del brazo (véase el capítulo 7). La presencia de cementita terciaria y el tamaño de grano registrado en la zona c muestran además que la unión fue realizada a una alta temperatura, seguida de un enfriamiento lento.

El contenido de carbono registrado es semejante al del ancla perteneciente al *HMB Endeavour*, analizada por Samuels, y característico del hierro afinado. El material de esta pieza presenta asimismo áreas con variado contenido de carbono (entre 0,05-0,10 % y hasta 0,15 %). Estas variaciones pueden apreciarse no sólo entre diferentes las barras empleadas para conformar las anclas, sino también al interior de una misma pieza, incluso en un espacio de pocos milímetros (Samuels 1992:87). Volviendo al ancla de la *Swift*, los valores de dureza de los tres sectores mencionados son los siguientes: a) 117 ± 7 HV; b) 121 ± 13 HV; y c) 99 ± 5 HV.

El sector de la palma que fue analizado presenta una microestructura de granos de ferrita de tamaño uniforme con bajo contenido de carbono (Fig. A.6.6). En algunos sectores se aprecian inclusiones de óxido de hierro (wüstita) y silicatos, orientadas en el sentido del conformado; las primeras presentan una estructura dendrítica, típica de un proceso de solidificación sin alteración mecánica posterior (Fig. A.6.7). Teniendo en consideración la estructura dendrítica de la escoria observada, es probable que el material haya alcanzado una temperatura de trabajo próxima a los 1.200 °C (Van Vlack 1989:165). El ancla estudiada por Deacon (2007) presenta inclusiones con una estructura similar. Por otro lado, los análisis de WDS indicaron que la pieza atribuida a la *Swift* posee una concentración variable de fósforo, entre 0,7-1,0 %. La dureza promedio de la muestra es 136 ± 4 HV, consistente con los valores registrados de fósforo.

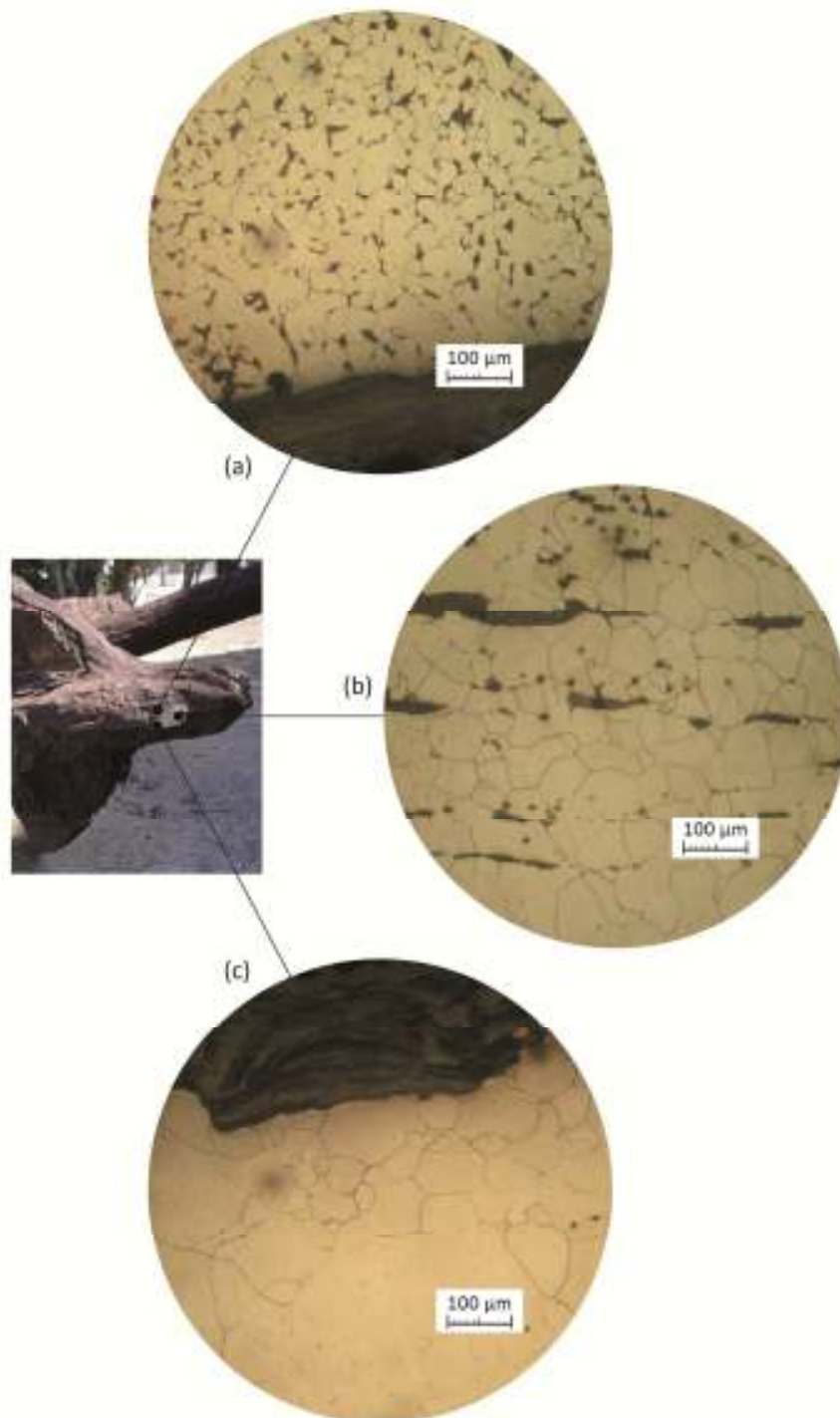


FIGURA A.6.5 – MICROESTRUCTURA DEL BRAZO.

Fotomicrografías del extremo de uno de los brazos, adonde se distinguen tres zonas con diferentes características (tamaño de grano, contenido de carbono y cantidad de inclusiones). Reactivo de ataque: Nital 3 %.

Fotos: N. Ciarlo 2009.

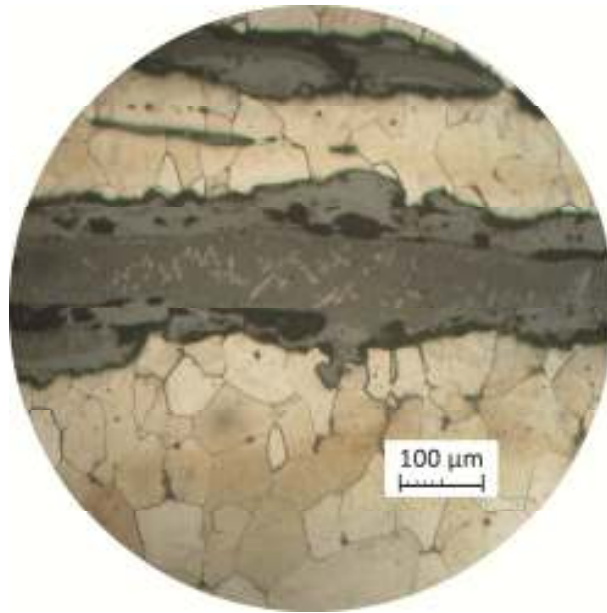


FIGURA A.6.6 – MICROESTRUCTURA DE LA UÑA.

Fotomicrografía de una de las uñas, donde se observa una microestructura de ferrita con bajo contenido de carbono e inclusiones alineadas. Reactivo de ataque: Nital 3 %.

Foto: N. Ciarlo 2009.

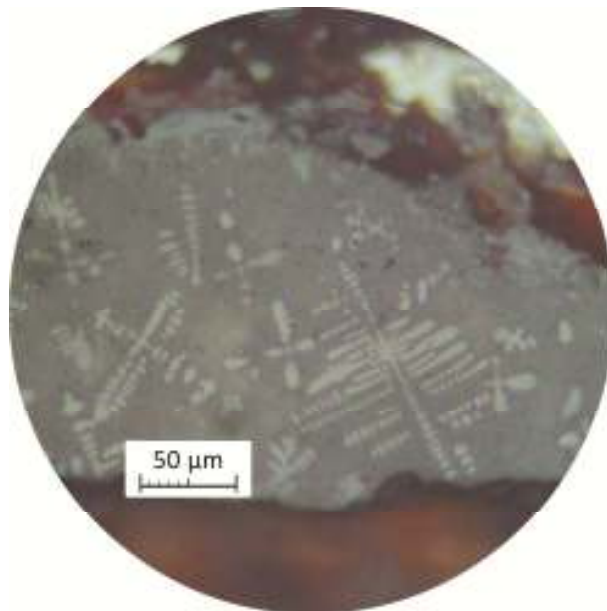


FIGURA A.6.7 – INCLUSIÓN DE ÓXIDO DE HIERRO (WÜSTITA).

Detalle de la estructura dendrítica observada en el interior de una de las inclusiones. Reactivo de ataque: Nital 3 %.

Foto: N. Ciarlo 2009.

Rezón

En el sitio también se hallaron los restos de una pieza identificada preliminarmente como un rezón (*grapnel, grapin*), del tipo empleado como ancla en los botes pequeños (Fig. A.6.8-a).³ El estado de deterioro del objeto es avanzado, aunque aún se conserva una parte de la caña y de las extremidades. En la actualidad, tiene una altura total de ca. 67 cm. El examen radiográfico de la porción inferior de la pieza indicó que tenía al menos cinco brazos (Fig. A.6.8-b).

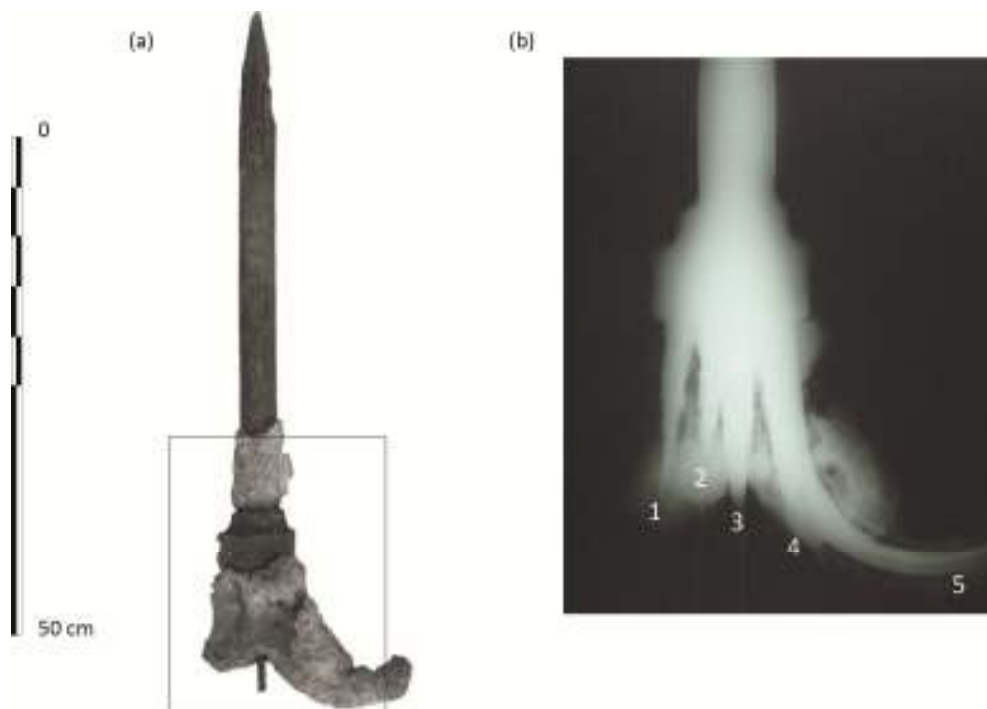


FIGURA A.6.8 – REZÓN.

Restos del rezón hallado en la *Swift*: (a) fotografía de la pieza, parcialmente concrecionada (el recuadro indica la zona radiografiada); y (b) radiografía (al 200 %) en la que se aprecia la existencia de cinco brazos.

Foto: N. Ciarlo 2008. Radiografía: M. De Vito 2008.

³ Para mayor información sobre las características de este tipo de piezas y los rasgos que distinguen a otras parecidas (arpeos de rastrear o de abordar), véanse Blanckley (1750) y Steel (1794); entre otros.

El análisis metalográfico de la caña reveló una microestructura formada por ferrita y perlita. Además, pueden apreciarse inclusiones de óxido de hierro y silicatos, alineadas en el sentido del conformado y distribuidas mayormente en la región periférica (Fig. A.6.9). El contenido de carbono de la caña es variable; cerca de la superficie, el porcentaje aparente de este elemento es prácticamente nulo, mientras que hacia el interior ronda el 0,1-0,2 % (Fig. A.6.10). El brazo, en cambio, presenta una microestructura de ferrita. Aquí también se observan inclusiones de óxido de hierro y silicatos, alargadas y concentradas preferentemente cerca de la superficie. La distribución no uniforme del carbono puede atribuirse a la heterogeneidad del material empleado para la fabricación del rezón. Las características descritas indican que la pieza fue elaborada por medio de un proceso de forja en caliente (De Rosa et al. 2011:89,90; Ciarlo et al. 2014:59,60).

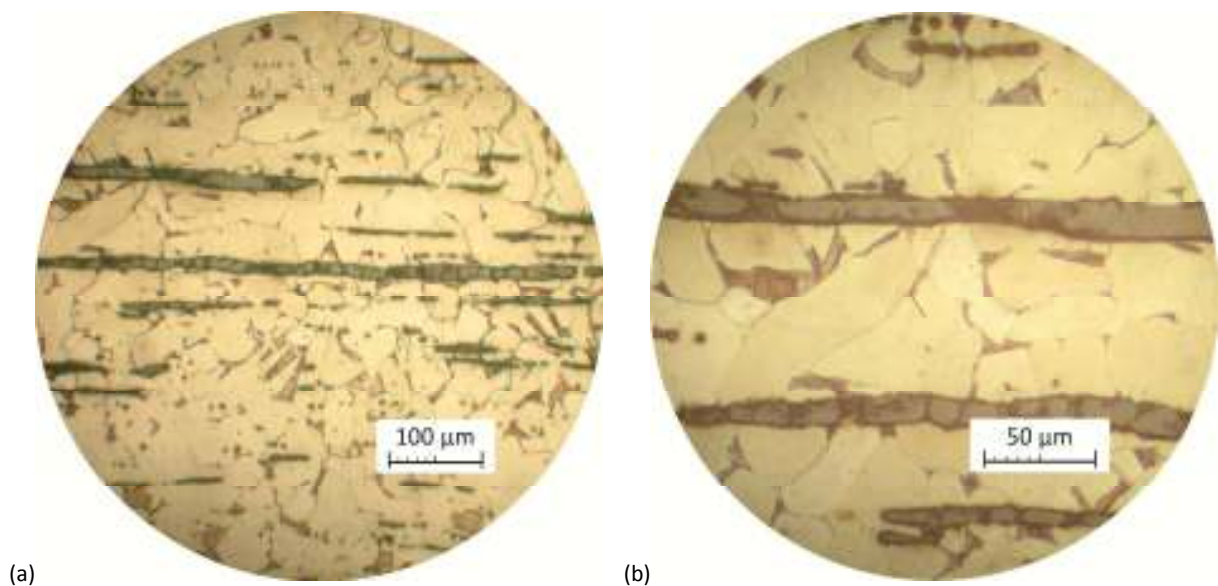


FIGURA A.6.9 – MICROESTRUCTURA DEL REZÓN (1).

Fotomicrografías de la caña del rezón, cerca de la superficie: (a) microestructura de ferrita con bajo contenido de carbono e inclusiones alineadas; y (b) detalle de la imagen anterior. Reactivo de ataque: Nital 3 %.

Fotos: N. Ciarlo 2010.

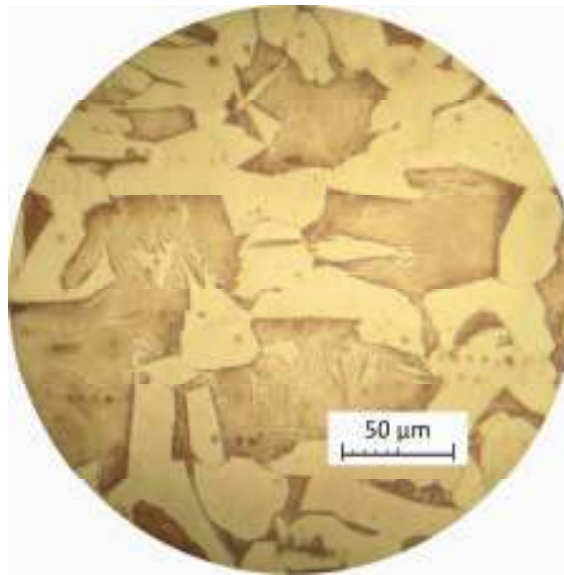


FIGURA A.6.10 – MICROESTRUCTURA DEL REZÓN (2).

Fotomicrografía de la caña del rezón, en un sector del interior que presenta mayor porcentaje de carbono y bajo contenido de inclusiones. Reactivo de ataque: Nital 3 %.

Foto: N. Ciarlo 2010.

La composición química de la muestra sugiere que el material con el que fue hecha la pieza pudo haber sido hierro de Öregrund, que se caracterizaba por el alto contenido de manganeso del mineral del yacimiento de Dannemora, Suecia (Peter King, com. pers. 2015).

Sistema de achique

Caño de bomba de carena

En el sector de la cubierta principal del barco donde se hallaron restos de la carlinga del palo mayor, se pueden observar dos tubos metálicos a cada lado de la crujía, pertenecientes a las bombas de tipo aspirante (Fig. A.6.11).



FIGURA A.6.11 – CAÑO DE BOMBA DE CARENA.

Porción superior del caño de una de las bombas aspirantes de la *Swift*, que asoma sobre la cubierta principal del barco.

Foto: S. Massaro 1999. Reproducción autorizada, cortesía del PROAS-INAPL.

Los tubos tienen un revestimiento de madera y su diámetro interno es ca. 12,7 cm (5 pulgadas). En el interior de uno de estos aún se conserva una pieza de madera, que fue identificada como la válvula superior de la bomba. Un artefacto de similares características fue recuperado durante las primeras actuaciones en el sitio, previas a los trabajos del PROAS. El segmento inferior de esta última es de forma tubular y presenta una ranura perimetral externa con orificios de fijación, donde iría colocada la junta de cuero utilizada para impedir que el agua se escurriera por entre las paredes de la válvula y el interior del caño. El borde del agujero central también exhibe orificios de clavos, por medio de los cuales se habría sujetado el disco de cuero que permitía el paso del agua cuando la válvula

descendía y, a la inversa, lo impedía cuando la válvula ascendía. Por otro lado, la parte superior de la válvula tiene forma de cuña y presenta varios orificios, a través de los cuales iba sujeto el vástago que vinculaba esta pieza con la palanca de accionamiento ubicada por fuera del tubo. Además de esta pieza, se recuperaron los restos de un artefacto de madera identificado como una de las válvulas inferiores (Elkin et al. 2011:138-141).⁴

Un fragmento de uno de los caños fue caracterizado a nivel microestructural. El análisis preliminar de EDS indicó que el material de la pieza tiene una composición aproximada de Cu 67 %, Pb 25 % y Sn 8 %, es decir que se trata de un bronce con alto contenido de plomo. La determinación de composición química por medio de OES y AAS arrojó el siguiente resultado, consistente con el anterior: Cu 69,9 %, Pb >20,5 %, Sn 7,9 % y otros elementos por debajo del 1 % (véase la Tabla A.6.1). En consonancia con esta información, el examen metalográfico permitió apreciar una aleación ternaria, compuesta por una fase primaria rica en cobre, con microsegregaciones y contenido variable de estaño, y otra de alto contenido de plomo (Fig. A.6.12). La microestructura de la muestra indica que el caño fue fabricado por medio de un proceso de fundición y colada en molde. La dureza del material es $97,5 \pm 4$ HV.

Debemos resaltar algunos aspectos relativos al material de los caños de las bombas de la *Swift*. Este posee un punto de fusión más bajo que el del cobre sin alear (1.083 °C), debido a la adición de plomo y estaño. En función de los tenores de estos dos elementos, y según el diagrama de fase ternario Cu-Pb-Sn, aquel parámetro ronda los 920 °C. La fusibilidad a una menor temperatura habría facilitado el proceso de colada. En cuanto a las propiedades mecánicas del tubo, y por comparación con otros materiales empleados en aquel entonces, cabe notar que esta aleación es más dúctil que los bronce con alto contenido de estaño y, por otro lado, más resistente que el plomo sin alear. Asimismo, en razón del alto contenido de plomo, podemos afirmar que se trata de un material de bajo coeficiente de fricción. Las características citadas eran propicias para este tipo de aparatos, con arreglo a la esbeltez de los caños y los esfuerzos a los que solían

⁴ Otros ejemplares de válvulas de bombas aspirantes fueron hallados en naufragios británicos y franceses del siglo XVIII, tales como el *HMS Invincible* (1758) (Bingeman 2010:75), el *Auguste* (1761, ex-corsario francés) (Canadian Parks Service 1992:58), el *Machault* (1760) (Oertling 1984:35-39) y uno de los sitios de *La Natière* (L'Hour y Veyrat 2000:24).

estar sometidos. El último aspecto, en particular, habría resultado ventajoso para reducir el coeficiente de fricción en el sistema deslizante válvula-camisa.⁵ Debido al bajo coste del plomo, en comparación con el estaño, podemos suponer además que su incorporación respondió en parte a una decisión de índole económica (De Rosa et al. 2011:85; Ciarlo 2014:64).

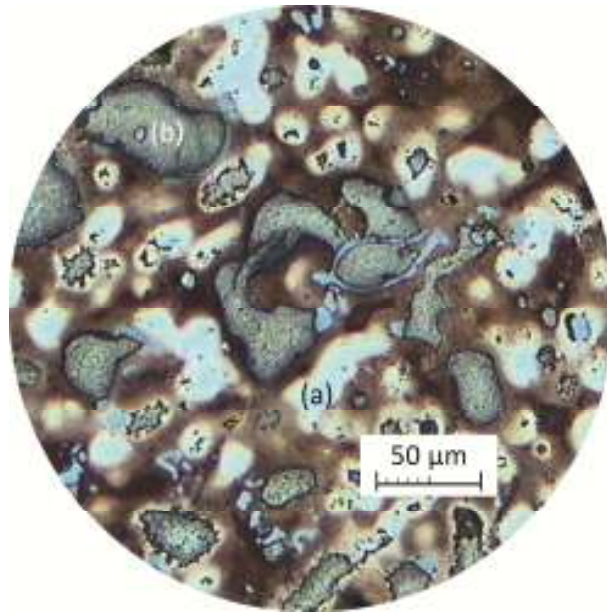


FIGURA A.6.12 – MICROESTRUCTURA DEL CAÑO.

Fotomicrografía del caño, hecho en una aleación ternaria compuesta por: (a) una fase primaria rica en cobre y contenido variable de estaño; y (b) una fase rica en plomo. Reactivo de ataque: FeCl_3 , HCl , H_2O .

Foto: N. Ciarlo 2010.

Sistema de gobierno

Caña del timón

La cabeza del timón del barco, que se encontraba desprendida y fracturada por debajo de la caña, fue recuperada durante los trabajos realizados por el equipo del

⁵ La aleación del tubo es del tipo que se utiliza para esos fines en la industria contemporánea (véase Bowden y Tabor 1964).

ICOMOS en el sitio hacia fines de la década de 1980 (Murray et al. 2003:52-54). Los restos de la pieza tienen una sección cuadrangular de 32 cm de lado. Al momento de su extracción, conservaba vestigios de los cuatro zunchos de hierro (dos longitudinales y dos transversales) que sujetaban la caña. En la superficie de la cabeza también pueden apreciarse los restos corroídos de los cuatro pernos (pajas) de hierro que sujetaban los zunchos. La caña, por otro lado, consiste en una barra de hierro de sección cuadrangular de 12 x 12 cm, que atraviesa la cabeza formando con esta un ángulo de 80°. La longitud preservada es de ca. 1,2 m (Elkin et al. 2011:120). En la figura A.6.13 ilustramos esta pieza.

Con fines analíticos, se extrajo una muestra del extremo fracturado de la caña. El examen metalográfico indicó que la microestructura del material está formada por granos de ferrita equiaxiales, de tamaño diverso, y un tenor no uniforme de carbono. En algunas zonas de la estructura, el contenido de este elemento es muy bajo o nulo (Fig. A.6.14), mientras que en otras alcanza un porcentaje aparente de 0,2 % (Fig. A.6.15). Estas diferencias, como hemos visto en otros casos, pueden asociarse o bien a las variaciones que presentaba usualmente el hierro empleado en aquel entonces o bien al uso de distintas barras de este material, unidas por forjado para formar el cuerpo de la pieza (véase el caso del ancla, más arriba). En principio, dadas las dimensiones de la caña, esta última sería la opción más probable. Al respecto, en la muestra se registró una agrupación de inclusiones de óxidos que podría estar indicando una zona de unión. La superficie de la caña, cerca del extremo fragmentado, presenta indicios macroscópicos que pueden atribuirse a dicho proceso de soldadura mediante forja. A excepción del sector referido, no obstante, la probeta presenta un bajo nivel de inclusiones, que denota la buena calidad del material empleado para la fabricación de la caña. En este sentido, se diferencia notablemente del hierro utilizado en el rezón (De Rosa et al. 2011:85,86; Ciarlo 2014:67,68). Esto se ve reflejado asimismo en la composición química registrada por medio de OES e IR (véase la Tabla A.6.1).

Lo anterior es consistente con la relevancia que tenía el timón para el control del barco y que además, como en el caso de las anclas, debía estar preparado para soportar fuertes exigencias mecánicas. A la luz de los contenidos de fósforo y azufre registrados, como ya fue comentado en el acápite del ancla, es probable que la materia prima empleada para forjar la caña fuera importada.

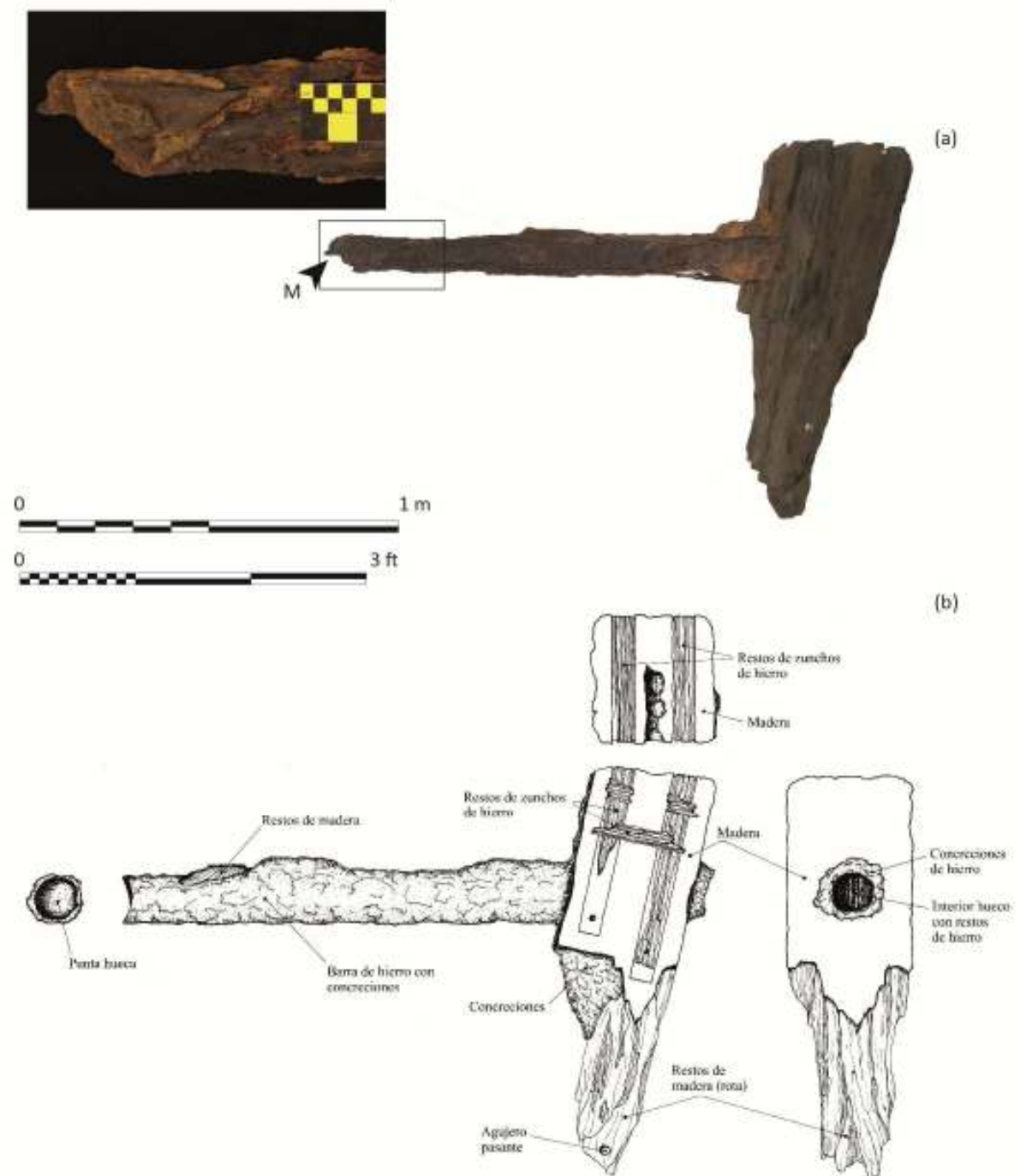


FIGURA A.6.13 – CABEZA Y CAÑA DEL TIMÓN.

Restos de la cabeza y caña del timón de la *Swift*: a) imagen de la pieza, donde se especifica el sector analizado; y b) plano realizado al momento de su recuperación, en el que puede apreciarse la concreción de la caña y los vestigios de los zunchos de hierro.

Fotos: N. Ciarlo 2008. Gráfico: C. Murray 1989. Reproducción autorizada, cortesía del PROAS-INAPL.

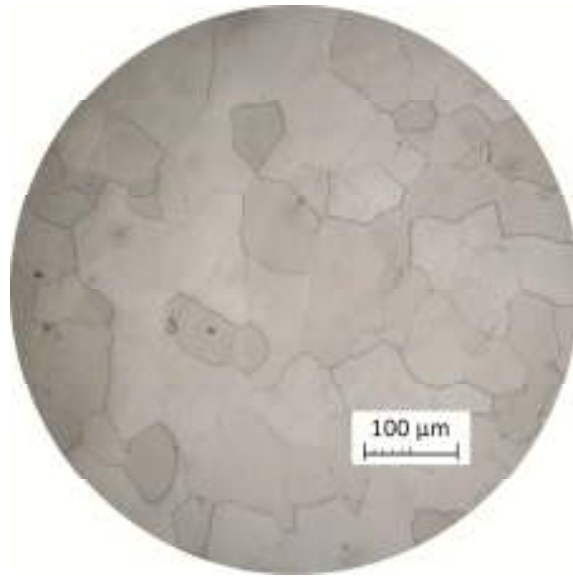
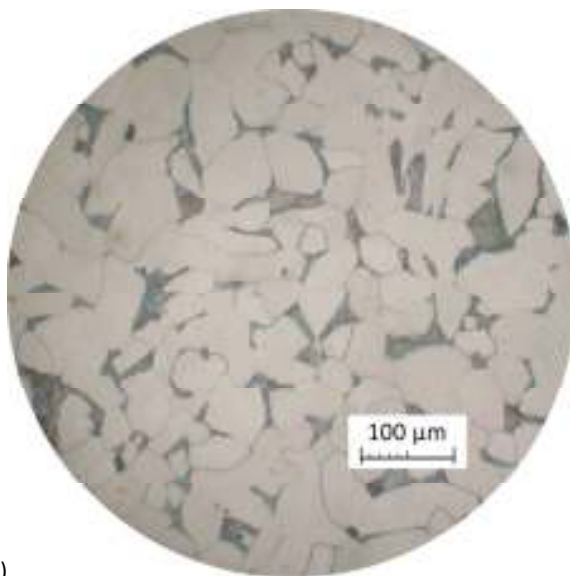


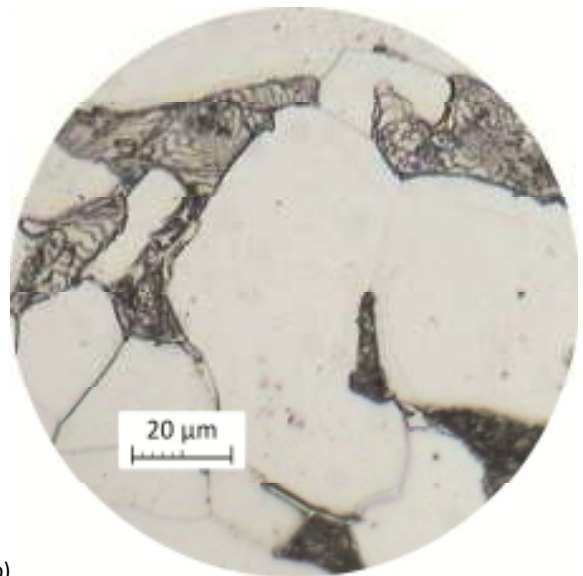
FIGURA A.6.14 – MICROESTRUCTURA DE LA CAÑA DEL TIMÓN (1).

Fotomicrografía de la caña del timón de la *Swift*, formada por granos de ferrita de diferente tamaño, en una zona con contenido casi nulo de carbono. Reactivo de ataque: Nital 2 % (NO_3H al 2 %, en alcohol etílico).

Foto: N. Ciarlo 2010.



(a)



(b)

FIGURA A.6.15 – MICROESTRUCTURA DE LA CAÑA DEL TIMÓN (2).

Fotomicrografías de la caña del timón de la *Swift*: a) microestructura de grano de ferrita y perlita (zona con mayor contenido de carbono); y b) detalle de las colonias de perlita. Reactivo de ataque: Nital 2 %.

Fotos: N. Ciarlo 2010.

Elementos de la jarcia firme y de labor

En la *Swift* se hallaron varios artefactos relacionados con la jarcia firme y de labor, tales como motones, vigotas y cabos de cáñamo. Es posible que algunos de estos objetos hayan pertenecido a los mecanismos empleados para la maniobra de los cañones. Varios de los elementos recuperados son de metal (e.g. pasacabos y zuncho de vigota) o tienen componentes metálicos (e.g. cojinete de las roldanas) (Elkin et al. 2011:142,143; véase también Grosso 2011, para el caso de los artefactos de madera).

Roldanas con cojinete

Las piezas de motonería llevaban en su interior, según el caso, una o varias roldanas de madera o metal. En el caso de la *Swift*, los motones y cuadernales de dos ojos tenían roldanas de madera. Algunas de estas tenían cojinete metálico, con un orificio central para el perno (Elkin et al. 2011:142,143).

Entre los componentes aislados (desacoplados de la caja), se identificó una decena de roldanas con cojinete de aleación de cobre. Nueve de estos están acoplados a las respectivas piezas de madera; el otro, se encuentra desprendido de la roldana, que aún se conserva. Es posible que algunas de las roldanas de los motones enteros también tengan este accesorio metálico; en estos casos, la inspección visual no permitió determinar este rasgo. A partir de su forma, los cojinetes se clasificaron en los siguientes dos tipos: 1) tronco-piramidales, con orificios laterales de fijación; y 2) circulares, con y sin orificios de fijación (Fig. A.6.16). Dos ejemplares del primero poseen grabada la flecha del Almirantazgo (véase Ciarlo 2014:60-62).

Las roldanas con cojinete metálico tendrían ciertas ventajas respecto de las otras. Por un lado, un mejor rodamiento sobre el perno; por el otro, un menor desgaste del orificio y, en función de ello, mayor durabilidad. Es probable que estos componentes se utilizaran en los motones destinados a los aparejos sometidos a mayores exigencias.

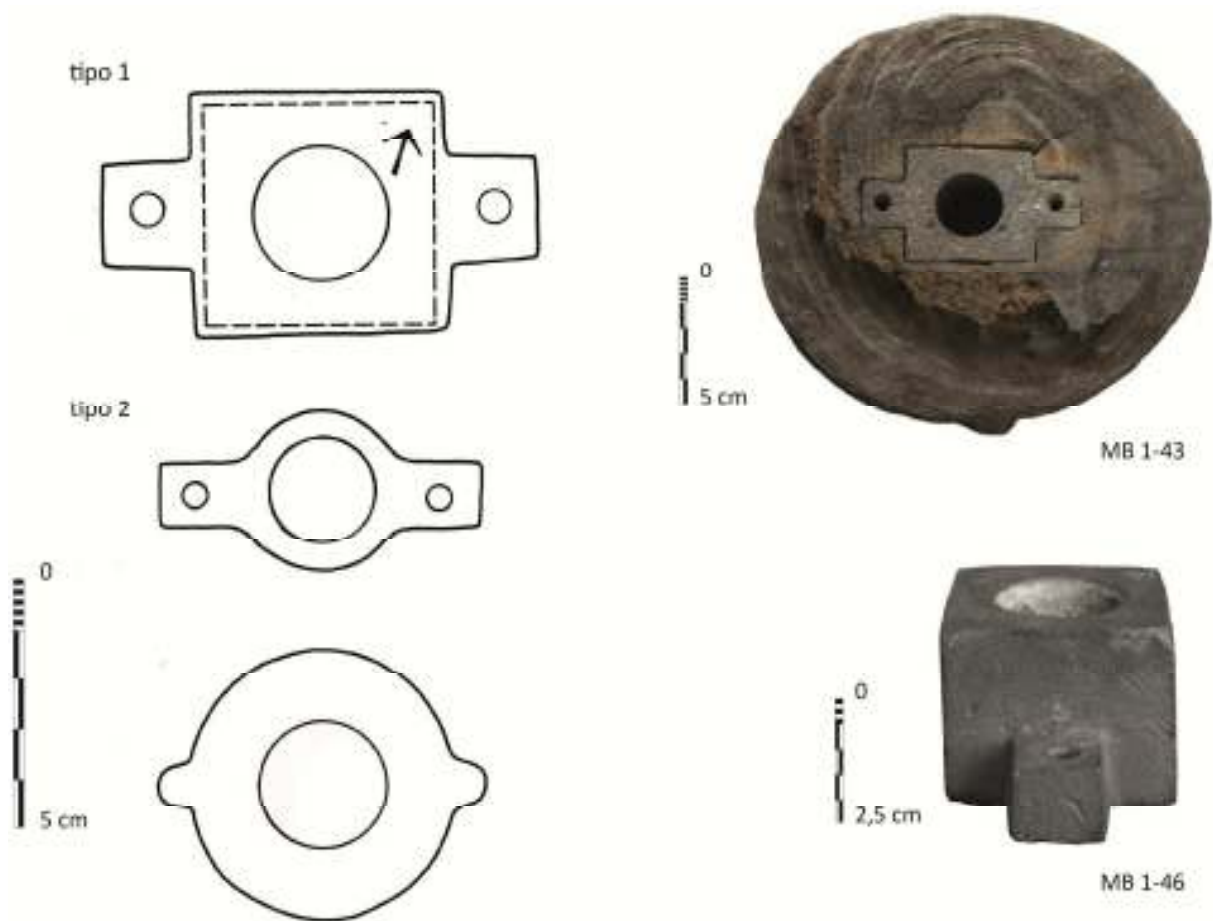


FIGURA A.6.16 – COJINETES DE ROLDANAS.

Diferentes cojinetes de aleación de cobre del sitio *Swift*. A la izquierda se ilustran los tres tipos registrados (croquis, vista inferior). Nótese la flecha del Almirantazgo de la pieza superior. A la derecha, arriba, se puede apreciar una roldana con cojinete (croquis, tipo 1); y a la derecha, abajo, el cojinete desacoplado de otra roldana, visto de perfil.

Fotos: D. Vainstub 2002 (MB 1-43), 2010 (MB 1-46). Gráfico: N. Ciarlo 2010. Reproducción autorizada, cortesía del PROAS-INAPL.

Los cojinetes iban encastrados en las roldanas de madera; para mayor seguridad, muchos se aseguraban mediante elementos de sujeción. La morfología de estos componentes sugiere que habrían sido fabricados mediante fundición y colada en molde. El cojinete de una de las roldanas (MB 1-43, véase la Fig. A.6.16) fue analizado superficialmente por medio de OES (con un equipo portátil). Así se determinó que la composición química del material consiste en una aleación

ternaria, con contenido mayoritario de Cu, Pb >20,5 % y Sn 3,2 % (véase la Tabla A.6.1). El contenido de plomo es sugerente, por algunas de las razones expresadas anteriormente con respecto al tubo de la bomba de carena de la *Swift*, en particular sus propiedades antifricción. Por tal razón, también habría sido beneficioso para el funcionamiento de otros componentes de aleación de cobre sujetos a rozamiento. Incluso en bajos porcentajes como los registrados en los goznes de la pala del timón del *HMS Sirius* (1790) (véase Stanbury 1994:103), destacó McCarthy, el plomo actuaba como lubricante, aliviando la fricción ocasionada sobre las superficies de desgaste (McCarthy 2005:136-137).

En la publicación compilatoria del sitio *Invincible* (1758), que cuenta con una importante colección de artefactos relacionados con la motonería, se menciona el hallazgo de seis roldanas de cuadernal con cojinete tronco-piramidal y orificios laterales de fijación (Bingeman 2010:82). En otros barcos británicos finiseculares también se han reportado roldanas de madera con diversos cojinetes de bronce. En el caso del *HMS Pandora* (1791), los cojinetes presentan una morfología circular, con tres o cuatro orificios de sujeción (tipo brida), y triangular, en este caso con tres agujeros. Iban colocados en ambas caras de las roldanas (Campbell y Gesner 2000:62-65). Esta variabilidad está expresada también en el sitio *HMS Sirius* (1810), adonde se hallaron ejemplares que tienen una morfología hexagonal irregular, con tres o cuatro orejuelas. Algunas de estas piezas exhiben además la flecha del Almirantazgo, acompañada de la fecha de fabricación y las iniciales del fabricante (von Arnim 1998:41).

Algunas roldanas con cojinete lucían las iniciales del fabricante. En uno de los reportes del *HMS Colossus* (1798), se menciona el hallazgo de una roldana con cojinete metálico y las letras *WT*, que refieren a 'Walter Taylor' (Camidege 2006:20). Esta misma marca figura en una de las roldanas con cojinete procedentes del *HMS Pomone* (1811), que además lleva inscrita la fecha de fábrica: *MY 02*, que representa 'May, 1802' (Bingeman 2010:83). Entre 1770 y los primeros años del siglo XIX, el suministro de motones para la jarcia de los barcos de la Real Armada británica estuvo a cargo de la firma Walter Taylor Jr. & Company, de Southampton.

Pese a que contaba prácticamente con el monopolio de este tipo de objetos, al parecer no hubo uniformidad en los diseños (Campbell y Gesner 2000:62).⁶

A la luz de los hallazgos podemos suponer que durante la segunda mitad del siglo XVIII existió cierta tendencia al uso de cojinetes dobles (uno a cada lado de la roldana). Por otro lado, más allá de las discrepancias de forma, la cantidad de orificios de fijación debió estar relacionada con el tamaño de las roldanas (Bingeman 2010:83). Cabe señalar que durante estos años, además de las piezas de madera con cojinete metálico, en algunos casos también se emplearon roldanas hechas enteramente en aleación de cobre (e.g. Bingeman 2010:79; AA.VV. 2015:541; véase también el anexo 7).

Guardacabos

Los guardacabos eran anillos de hierro con una acanaladura perimetral, por la cual se aseguraba el extremo de un cabo, con el fin de ajustarlo a otro cabo (que pasaba por dentro, sin rozarse), a un aparejo o a una anilla de hierro. Este último era el caso de las bragas que se fijaban a los costados de las portas, para aguantar el retroceso de los cañones.

En la zona de excavación de popa de la *Swift* se hallaron dos ejemplares de hierro. Ambos tienen una morfología oval y una canaleta a lo largo del perímetro. Están muy deteriorados, aunque preservan su morfología original. Las principales dimensiones de los dos guardacabos son las siguientes:

Dimensiones	No. INA 118	No. INA 146
Alto	51 mm	55 mm
Ancho	41,5 mm	42 mm
Acanaladura (ancho y profundidad)	14,5 x 2,5-4 mm	23 x 3-6 mm

⁶ La probada superioridad de los motones fabricados por los Taylor en Southampton llevó a los franceses a encargar este tipo de piezas a Inglaterra y, con el tiempo, a montar una fábrica en Brest basada en el mismo sistema de producción, bajo la supervisión de Le Turc (Ferreiro 2007:21; Bradley 2010:90,95).

No se realizaron análisis específicos para la caracterización del material, debido al estado de las piezas.

Zuncho de vigota

Estos zunchos, junto con una cadena o planchuela de hierro, servían para hacer firmes en la mesa de guarnición o en la cofa, según el caso, las vigotas utilizadas para tesar las jarcias.

En 2001, durante las excavaciones arqueológicas en el sitio, se extrajo un zuncho de vigota muy concrecionado (Fig. A.6.17). Debido al avanzado estado de deterioro, no fue posible estudiarla en detalle.



FIGURA A.6.17 – ZUNCHO DE VIGOTA.

Estado del zuncho de vigota, luego de su extracción en 2001. Debido al deterioro, no presentaba remanentes metálicos. En el recuadro se ilustra una típica vigota de madera, con las siguientes indicaciones: 1) acollador; 2) ojo o groera; y 3) zuncho.

Foto: D. Vainstub 2001. Reproducción autorizada, cortesía del PROAS-INAPL.

Artillería

Cañones

El principal armamento de las corbetas de guerra británicas (*sloops-of-war*) de la época consistía en cañones de hierro de 6 libras. La *Swift*, en particular, estaba artillada con catorce de estas bocas de fuego, dispuestas sobre la cubierta superior. Además, llevaba ocho pedreros (*swivel-guns*) de hierro de ½ libra en el alcázar y cuatro en el castillo de proa. Ocho cañones fueron localizados en el sitio; se encuentran parcialmente expuestos, a lo largo de la banda de babor. Los restantes, se suponen enterrados bajo el sedimento y/o los restos estructurales del casco. En función de sus dimensiones principales (la longitud de las piezas, que están cubiertas por concreciones, es ca. 1,9m) y de los años en que operó la *Swift*, se estima que pertenecían al modelo más corto del patrón *Armstrong* (i.e. de 6 pies). Con respecto a los pedreros, en el sector de proa, a estribor y por debajo de la cubierta inferior, se hallaron seis objetos de sección circular que podrían corresponder a este tipo de piezas. Dos de los ejemplares poseen una longitud de ca. 85 cm (corresponderían al modelo corto, de 2½ pies). En la *Swift* se localizaron además los restos de varias cureñas (algunos carros permanecen asociados a los correspondientes cañones) y parte del utillaje empleado para la operación de las piezas de artillería. Las dimensiones de estos objetos de madera, así como las inscripciones que presentan varios de ellos, se ajustan al calibre de los cañones. A excepción de algunas partes de cureñas y de los utensilios mencionados, ningún cañón o pedrero fue recuperado del sitio (véase Murray et al. 2002; Elkin et al. 2007, 2011; Ciarlo 2014; para mayor información sobre los objetos de metal estudiados).

Municiones

Las municiones recuperadas del sitio *Swift* consisten en un conjunto de balas rasas de 6 libras, un tarro de metralla con parte del contenido y una bala enramada (véase el capítulo 8, para mayor información sobre los diferentes tipos de municiones). Tanto el tarro como esta última sufrieron un profundo deterioro, de

resultas que no presentan restos metálicos remanentes. En función del levantamiento de datos realizado al momento de su recuperación y de los estudios posteriores, se pudo constatar que las dimensiones de ambas piezas son consistentes con el calibre de los cañones del barco (véase Elkin et al. 2011; Ciarlo 2014). Algunos de estos objetos fueron extraídos del sitio durante la década de 1980, tiempo antes de las primeras intervenciones arqueológicas, por lo que se desconoce con precisión el contexto de los hallazgos (Fig. A.6.18).



FIGURA A.6.18 – RESTOS ASOCIADOS A LA ARTILLERÍA.

Entre los restos recuperados durante la década de 1980, se encuentran varios objetos asociados a la artillería. En la imagen se aprecia la cabeza de un atacador, un tarro de metralla (con parte del contenido, un total de 37 balas),⁷ un fragmento de chillera y, dentro de este, una bala rasa.

Foto: Marcos Oliva Day. Reproducción autorizada, cortesía del PROAS-INAPL.

Las cinco balas rasas recuperadas poseen un diámetro promedio de ca. 9 cm, aunque las que se encuentran en mejores condiciones miden entre 87 y 88 mm.

⁷ Los tarros de metralla utilizados en los cañones de 6 libras contenían una carga aproximada de 40 balas (Stanbury 1994:80).

Estas variaciones de tamaño se deben a su preservación diferencial, que asimismo está reflejada en el peso. En algunas balas aún puede apreciarse una impronta circular, vestigio del canal de colada. Las balas halladas dentro del tarro de metralla también exhiben diferentes estados de integridad física. Tomando en consideración las características de aquellos ejemplares mejor conservados, estas balas tienen en promedio un diámetro de 23 mm (21,5 mm entre los polos) y pesan alrededor de 23 gramos. Además de la marca circular mencionada, varias presentan una delgada línea perimetral; ambos rasgos son producto del proceso de manufactura en molde.

Un ejemplar de las balas rasas y otro de las de metralla fueron analizados por medio de metalografía (Fig. A.6.19).

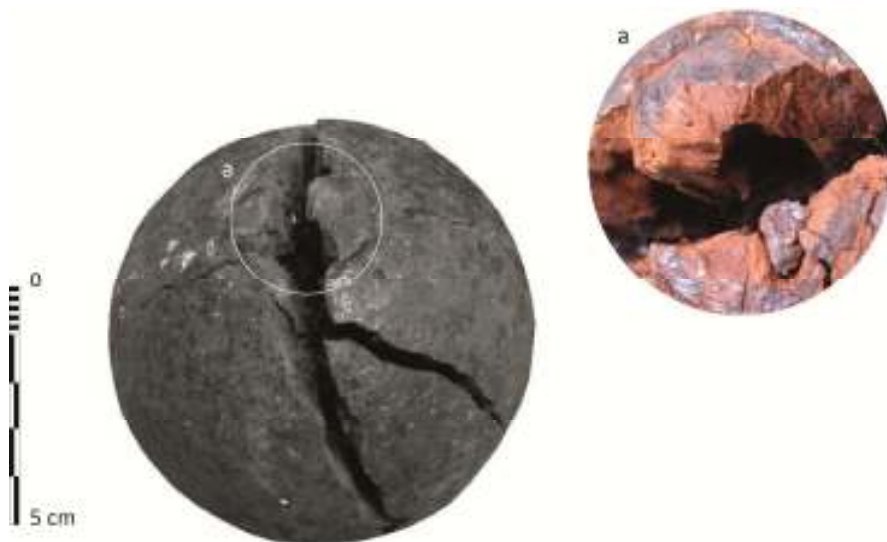


FIGURA A.6.19 – BALA RASA DE 6 LIBRAS.

Imagen de la bala rasa analizada. En el detalle (a) se aprecia la grieta que atraviesa el sector correspondiente al canal de colada, de donde se obtuvo la muestra para metalografía. Diámetro: 90 mm. Peso: 1.450 g.

Fotos: D. Vainstub 2002. Reproducción autorizada, cortesía del PROAS-INAPL.

En el primer caso, la muestra se obtuvo de un sector próximo a la superficie, mientras que en el segundo se realizó un corte diametral de la bala. Pese a la

aparente integridad de las piezas, ambas presentaban un alto grado de deterioro, según pudo corroborarse a partir de la observación de su microestructura.

La microestructura de la bala de 6 libras presenta una matriz continua de óxido, surcada por placas de cementita (Fig. A.6.20). Lo primero indica que el material sufrió un deterioro corrosivo significativo, que afectó a parte importante de la pieza, mientras que la presencia de cementita remanente permite afirmar que el material con el que fue realizada la bala es fundición blanca. La bala de metralla presenta una microestructura de similares características a la anterior (Fig. A.6.21). En ningún caso fue posible identificar otros microconstituyentes de la aleación hierro-carbono (e.g. ferrita, perlita, esteadita y grafito), debido a que fueron completamente transformados en óxido por efecto de la corrosión (De Rosa et al. 2011:90,91; Ciarlo 2014:76,78).

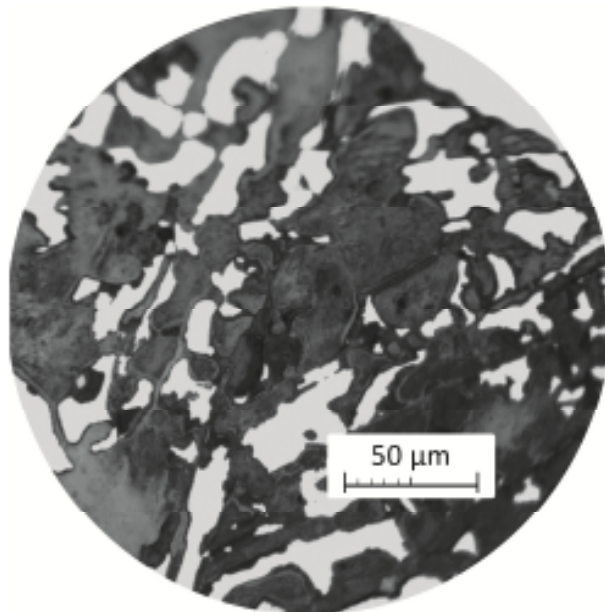


FIGURA A.6.20 – MICROESTRUCTURA DE LA BALA RASA.

Fotomicrografía de la bala rasa, adonde se observa una matriz continua de óxido (gris oscuro) surcada por placas de cementita (gris claro). Reactivo de ataque: Nital 3 %.

Foto: H. De Rosa 2014.

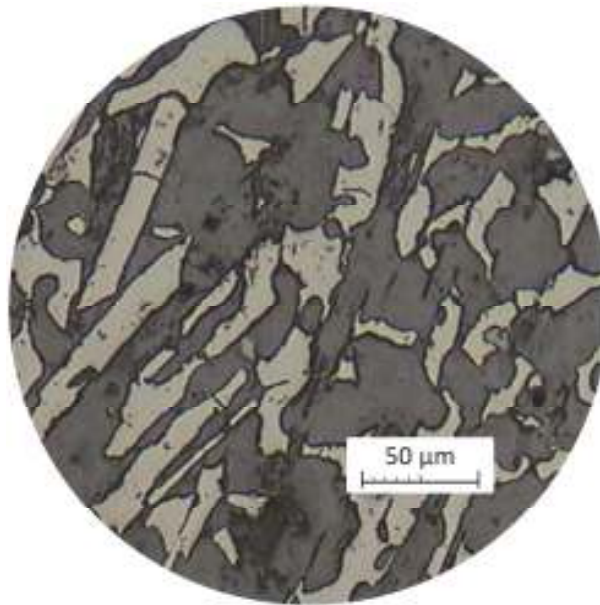


FIGURA A.6.21 – MICROESTRUCTURA DE LA BALA DE METRALLA.

Fotomicrografía de la bala de metralla, en la que se aprecia una microestructura semejante a la de la figura A.6.20. Reactivo de ataque: Nital 3 %.

Foto: N. Ciarlo 2010.

Como anticipamos, en la *Swift* también se recuperó una bala enramada (Fig. A.6.22). Este tipo de munición, recordemos, estaba destinada a desarbolar los barcos enemigos. La identificación de la pieza se realizó por medio de radiografía, dada la gruesa concreción que la cubría. Aunque no se preservan restos metálicos, aquel estudio permitió apreciar una de las dos semiesferas y parte de la barra interna, que se encontraba articulada en el centro.

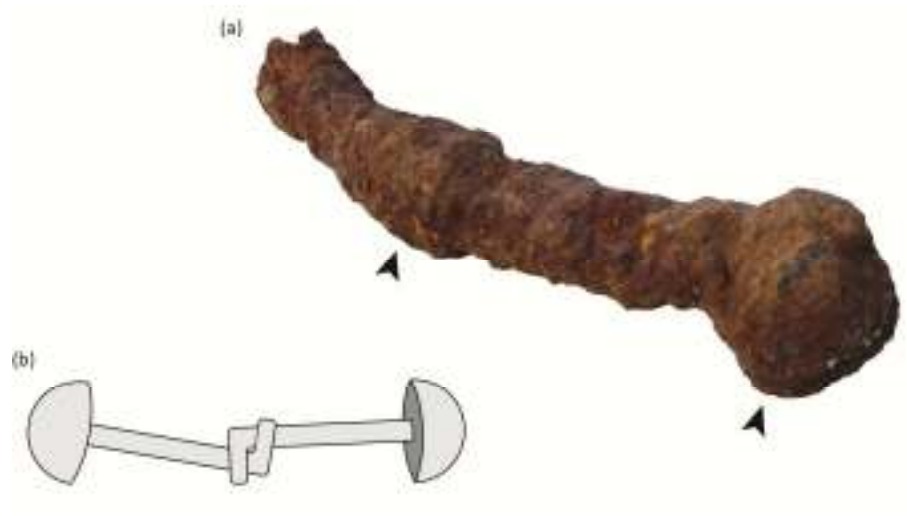


FIGURA A.6.22 – BALA ENRAMADA.

Bala enramada hallada en la *Swift*: (a) restos concrecionados (largo actual: 68 cm); y (b): reconstrucción tentativa de la pieza original. Las flechas indican la semiesfera de uno de los extremos y la articulación de la barra interior.

Foto: N. Ciarlo 2008. Reproducción autorizada, cortesía del PROAS-INAPL.

Tablas

TABLA A.6.1 – COMPOSICIÓN QUÍMICA GLOBAL DE LAS MUESTRAS DE HIERRO, COBRE Y ALEACIÓN DE COBRE.

Artefacto	Análisis	Elementos (% en peso)									
		<i>Fe</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>Cu</i>	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>Ni</i>
Hierro											
Rezón	AAS, IR	Resto	0,110	0,056	0,033	0,097	0,115	–	0,005	<0,001	–
Caña del timón	OES, IR	99,5	0,103	0,062	0,007	<0,005	<0,005	0,014	<0,001	<0,001	0,225
Aleación de cobre											
Caño de bomba de succión	OES, AAS	69,9	7,900	0,114	>20,5	0,141	>0,480	0,356	0,030	0,160	0,105
Cojinete de roldana	OES	Resto	3,200	0,063	>20,5	0,056	–	–	0,091	–	–

Referencias:

Fe (hierro); C (carbono); P (fósforo); S (azufre); Mn (manganeso); Si (silicio); Cu (cobre); Al (aluminio); Ca (calcio); Ni (níquel); Sn (estaño); Zn (zinc); Pb (plomo); Bi (bismuto); As (arsénico); Sb (antimonio); Ag (plata).

<, > (el valor detectado se encuentra, respectivamente, por debajo o por encima del límite de detección del equipo).

– (no se detectó; el valor es despreciable).

Anexo 7

ANÁLISIS DE MUESTRAS DEL *TRIUNFANTE*

Consideraciones generales

A continuación presentamos los resultados del análisis morfológico, microestructural y de composición química de un conjunto de artefactos de metal procedentes del navío español de 74 cañones *Triunfante* (1756-1795), que fueron considerados de interés en el marco de esta tesis. El barco, nacido del genio de Jorge Juan, sirvió en sus últimos días a la escuadra comandada por Gravina. Naufragó en el Golfo de Rosas, durante las operaciones de defensa del lugar contra los franceses. Para mayor información sobre el sitio y los hallazgos realizados, recomendamos consultar *El vaixell Triunfante* (Nieto et al. 2013), obra a la que ya hicimos referencia en el capítulo 5, cuando presentamos el sitio. También sugerimos consultar los trabajos sobre el *Triunfante* que allí citamos. El extenso historial de servicio de este navío lo convierte en un caso de particular utilidad para conocer los cambios ocurridos durante la segunda mitad del siglo XVIII en torno a la construcción naval española.

Los artefactos en cuestión provienen de un contexto de excavación, y fueron recuperados por el equipo de investigación del CASC-MAC. Las muestras seleccionadas para análisis pertenecen a las siguientes categorías: elementos de sujeción (pernos y clavos), revestimiento de forro (chapas y tachuelas), elementos de la jarcia firme y de labor (vigota, motón, cuadernal) y artillería (cañón y balas). El registro de los objetos y la selección de muestras se realizaron en el laboratorio del CASC-MAC, en noviembre de 2011 y enero-febrero de 2013.

Los principales métodos y técnicas de caracterización que aplicamos en este caso fueron: examen metalográfico mediante microscopía óptica (OM) y

microscopía electrónica de barrido (SEM); determinación química por medio de espectroscopia de rayos X dispersiva en energía (EDS), espectrometría de emisión óptica (OES), espectrometría de absorción atómica (AAS) y espectrometría infrarroja (IR); y ensayo de dureza Vickers (HV).

Algunos de los datos recabados de los análisis fueron presentados de forma parcial en otras ocasiones (e.g. Ciarlo et al. 2013, 2015c; Ciarlo 2015b). Con la anuencia de los demás autores, los reproducimos en este apartado. Además, nos extenderemos en una serie de consideraciones que no fueron desarrolladas previamente y, dando a conocer los últimos resultados, completaremos la información disponible al día de la fecha. Es oportuno aclarar que estos estudios específicos no son más que una primera contribución a los temas de interés dentro del proyecto, susceptible de ser aumentada por medio de futuras investigaciones.

Elementos de sujeción

Los estudios arqueológicos desarrollados en el sitio permitieron determinar, como expusimos en el capítulo 5, que muchas de las maderas del casco fueron unidas mediante cabillas, modalidad característica de la *construcción a la inglesa* de Jorge Juan. Pero también vimos que la tablazón del forro interior y exterior del casco estaba fijada con clavos de hierro. De acuerdo con los investigadores responsables del trabajo, este hecho puede relacionarse con las modificaciones que se llevaron a cabo al poco tiempo de la construcción del navío, con la vuelta al sistema anterior, e incluso más adelante, como parte de los numerosos recorridos que tuvo el barco durante sus años de servicio (Pujol i Hamelink 2011:129).

Pernos

La estructura del barco está cubierta por concreciones de hierro en varios sectores. Algunas de estas formaciones corresponden a los elementos de sujeción con que se unía el maderamen del casco. En el sector de la popa, los maderos principales

están atravesados por pernos de hierro, tal como se ilustra en la figura A.7.1. Los pernos utilizados en la roda de proa y la roda de popa (codaste) eran los más largos, dado la cantidad y grosor de los maderos que debían unir.

Aquí analizamos un perno de hierro de sección circular y cabeza plana, que se encontró aislado, i.e. desprendido de la estructura (Fig. A.7.2). La muestra consiste en la parte superior del astil, que se encuentra quebrado, y la cabeza. Sus dimensiones son las siguientes: 85 mm de largo y 22,5 mm de diámetro (alcanza los 25 mm en el extremo superior). La cabeza ha perdido su forma original, debido a que presenta un estado avanzado de deterioro. No obstante, asumiendo que originalmente fuera circular, los restos sugieren que tenía un diámetro mínimo de 37 mm.

La microestructura del astil está formada por granos de ferrita y perlita, de tamaño heterogéneo, con un contenido de carbono aparente de 0,5 %; este disminuye hacia la superficie, donde es menor al 0,2 % (Fig. A.7.3-a,b). En algunas zonas se observó un alto contenido de inclusiones que, según los estudios realizados mediante EDS, corresponden a silicatos complejos, con proporción mayoritaria de calcio y presencia de hierro, potasio, magnesio y manganeso. Aunque no todas las inclusiones se encuentran deformadas, consideradas en conjunto mantienen una alineación preferencial en el sentido de la longitud del astil (Fig. A.7.3-c).

Las características anteriores sugieren que el perno fue realizado a partir de una aleación hierro-carbono (acero), que durante el proceso de conformado habría experimentado una pérdida de carbono superficial (decarburation, producida por efecto de la temperatura a la cual se hace la forja y el contacto con el aire). La distribución fragmentada de los granos de perlita indica que, en la última etapa del proceso de manufactura, la pieza fue calentada a una temperatura intercrítica (ca. 750 °C) y enfriada relativamente rápido (al aire).

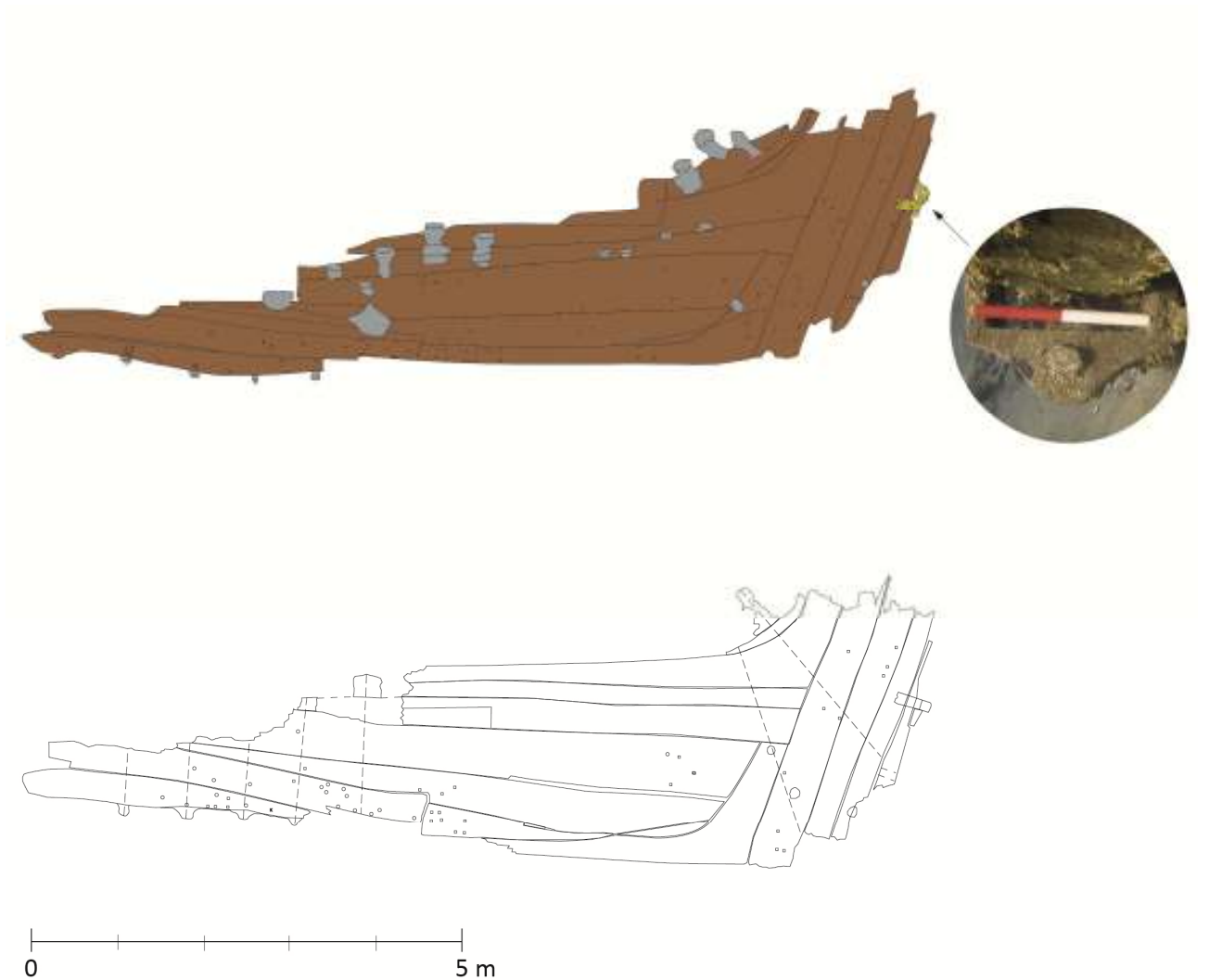


FIGURA A.7.1 – DORMIDOS DE POPA Y RESTOS DEL CODASTE DEL *TRIUNFANTE*.

En la planta (arriba) se aprecian las concreciones de los elementos de sujeción (en gris oscuro), así como una de las hembras del timón, hecha de aleación de cobre (imagen circular). En el alzado, con trazos discontinuos, se muestra la ubicación de los pernos de hierro que atraviesan los maderos principales (e.g. curva coral, contracodaste y codaste). La semejanza entre uno y otro dibujo se debe a la escora que presenta la estructura en este sector.

Gráfico: basado en el plano original de R. Geli 2011. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.



FIGURA A.7.2 – PERNO DE HIERRO.

Restos del perno de hierro analizado. La cabeza presenta un estado de deterioro avanzado, mientras que el astil conserva su forma original.

Foto: N. Ciarlo 2011. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

La composición química de la pieza fue determinada mediante OES e IR, esta última para el caso particular del carbono y el azufre.¹ Los valores de los elementos presentes se detallan en la tabla A.7.1. Cabe notar que en esta pieza se detectaron los mayores contenidos de carbono (0,457 %) de los tres artefactos de hierro analizados. Este resultado es consistente con las observaciones realizadas mediante el microscopio óptico metalográfico. Los bajos tenores de fósforo (0,015 %) y azufre (0,006 %) indican que se trata de un hierro de muy buena calidad, del tipo que se producía por aquel entonces en España, y que era tan apreciado en el extranjero.

¹ Los análisis se llevaron a cabo en la empresa ABS Corp. (véase el capítulo 5). Debido a los efectos que ocasiona la corrosión sobre la composición química de los materiales, las mediciones fueron realizadas sobre una superficie que, según lo observado en el microscopio óptico metalográfico, no presentaba evidencia de corrosión.

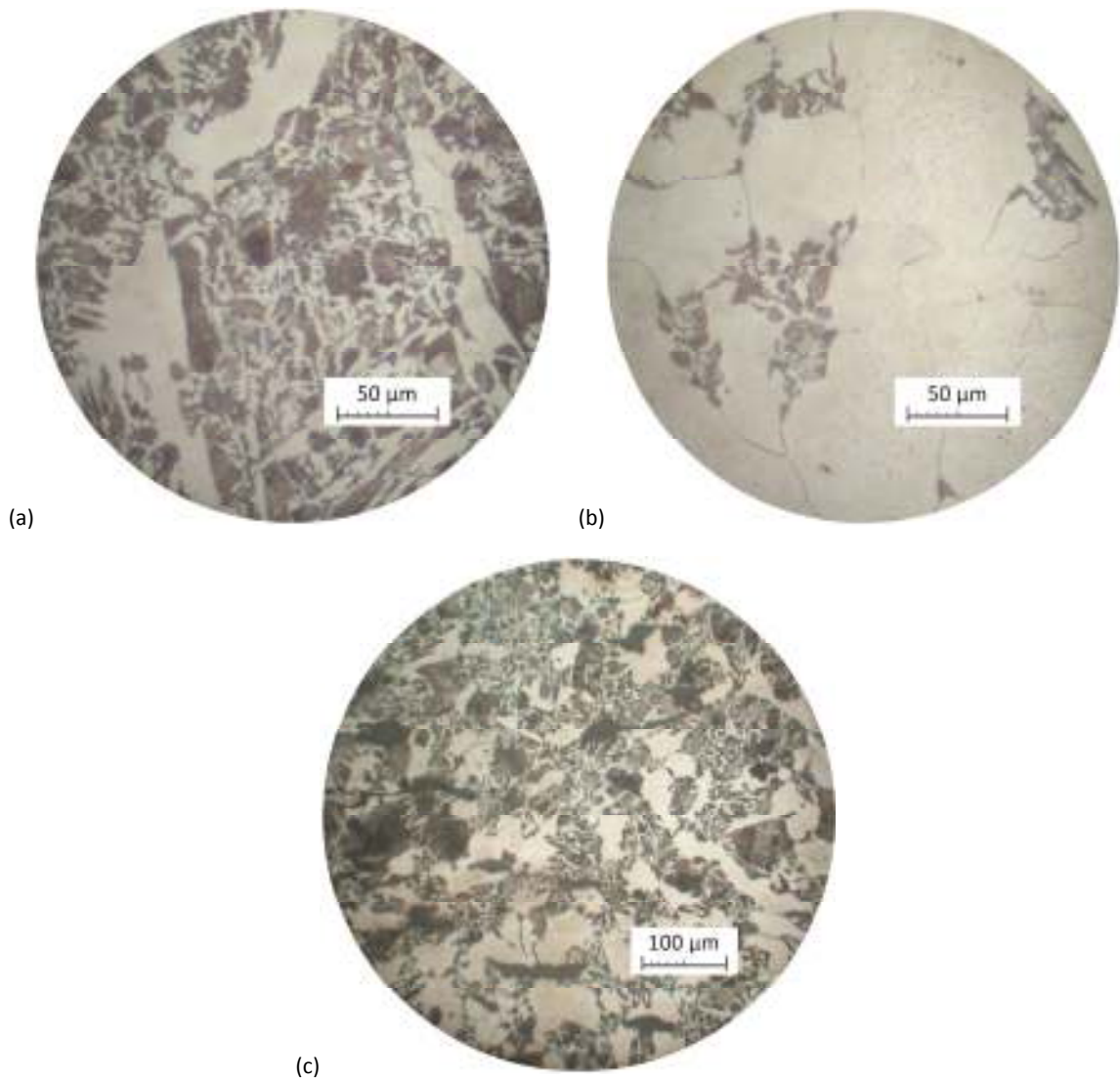


FIGURA A.7.3 – MICROESTRUCTURA DEL PERNO (ASTIL).

Fotomicrografías del perno de hierro: (a y b) áreas con alto y bajo contenido de carbono, respectivamente; (c) sector del astil con inclusiones alargadas. Reactivo de ataque: Nital 3 % (NO_3H al 3 %, en alcohol etílico).

Fotos: N. Ciarlo 2012.

Los valores de dureza son variables, según el sector. En la cabeza se registró una dureza de 109 ± 11 HV, mientras que en el astil esta es 190 ± 24 HV. El incremento relativo se debe al mayor contenido de perlita que se encuentra en esta última zona. La resistencia a la tracción para ese valor de dureza (en el astil) se estima en ca. 670 MPa, i.e. 67 kg/mm^2 (Apraiz 1964:509).

Clavazón estructural

En el sitio se hallaron diferentes tipos de elementos de sujeción de cobre y aleación de cobre, dispersos entre los restos estructurales, que fueron recuperados como muestras (Fig. A.7.4). Dado que en varias áreas del casco la clavazón se encuentra en su posición original, fue posible corroborar la función de las piezas que estaban sueltas por medio de una comparación morfológica.

Las tablas del forro exterior e interior, recordemos, iban unidas a las cuadernas con elementos de hierro. Este conjunto constituye la clavazón principal en el sitio, aunque también se hallaron algunos clavos de cobre para unir maderos de semejantes dimensiones. Aquí nos ocuparemos de una de estas piezas (Fig. A.7.4-c), mientras que en el apartado siguiente analizaremos los clavos más pequeños y tachuelas que fueron empleados para el aforro de pino y de cobre, respectivamente.

El clavo en cuestión tiene un largo de 156 mm. El astil es de sección cuadrangular, y mide 10 x 10 mm (a la altura de la cabeza), 9 x 7,5 mm (en el sector medio) y 5 x 5,5 mm (cerca de la punta, que termina en forma de cuña). La cabeza es plana y se encuentra deteriorada, aunque aún se puede apreciar su morfología circular (mide 18,5 x 16 mm).

El examen metalográfico permitió apreciar, en líneas generales, una estructura monofásica de granos equiaxiales de distinto tamaño, y con el color característico del cobre. Además, se registraron maclas de recocido e inclusiones de óxido de cobre (Cu_2O). En el astil y la punta, estas aparecen ligeramente alineadas en el sentido longitudinal de la pieza (Fig. A.7.5). En la cabeza, en cambio, mantienen un orden con el aspecto de la estructura eutéctica (Cu-CuO_2) (Fig. A.7.6). Esta diferencia puede considerarse como resultado de los distintos grados de deformación plástica introducida durante el conformado de la pieza.

Las características de la microestructura descrita son consistentes con un proceso por el cual, partiendo de una barra o varilla de cobre colado con un cierto contenido de oxígeno, se trabajó por martillado en caliente. La zona del astil fue la que sufrió mayor grado de deformación, mientras que la sección de la cabeza se

sometió a una menor distorsión, y por esta razón exhibe huellas del microconstituyente eutéctico original referido.

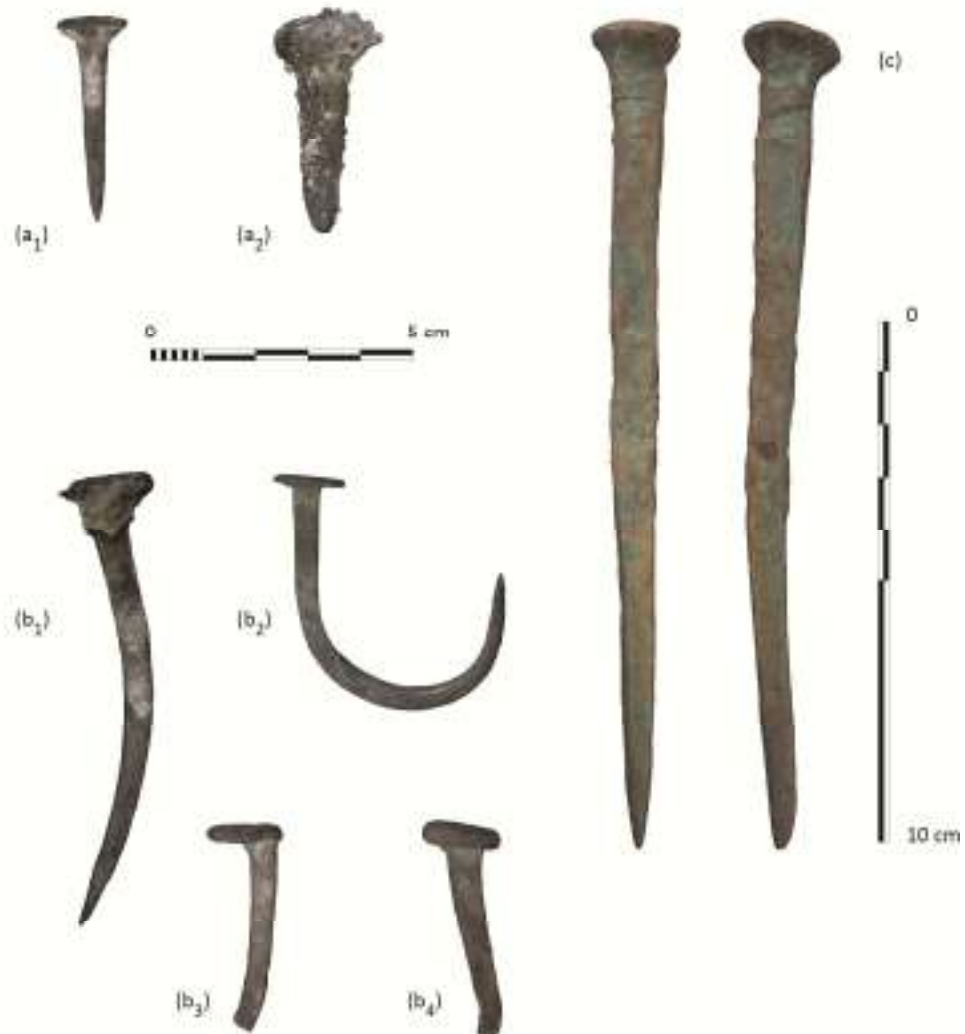


FIGURA A.7.4 – CLAVOS Y TACHUELAS DEL TRIUNFANTE.

Diferentes tipos de clavos y tachuelas (no ferrosos): (a1) tachuela de plancha de cobre; (a2) tachuela similar a la anterior, pero concrecionada; (b1 y b2) clavos del forro de sacrificio; (b3 y b4) clavos del mismo tipo, con el astil quebrado; (c) clavo de tabla de forro (vista de frente y perfil).

Fotos: N. Ciarlo 2011. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

La dureza en el astil y la punta es 57 ± 15 HV y 69 ± 3 HV, respectivamente. Estos valores corresponden a un cobre relativamente blando (la dureza del cobre en estado de recocido es ca. 50 HV). El incremento de la dureza en el sector de la cabeza (121 ± 10 HV) puede estar relacionado con la presencia de una mayor cantidad de inclusiones y la forma en que estas se encuentran agrupadas, así como con el contenido registrado de arsénico (véase más abajo).

Una primera aproximación a la composición química, realizada en varios sectores mediante EDS, indicó que el material utilizado para la fabricación de la pieza fue cobre sin alear. El ulterior análisis por medio de OES y AAS² confirmó que se trata de Cu 99,2 %. Entre los demás elementos presentes en bajas proporciones, caben destacar los siguientes contenidos de impurezas: Sb 0,204 %, As 0,256 % y Bi 0,101 % (Tabla A.7.1).

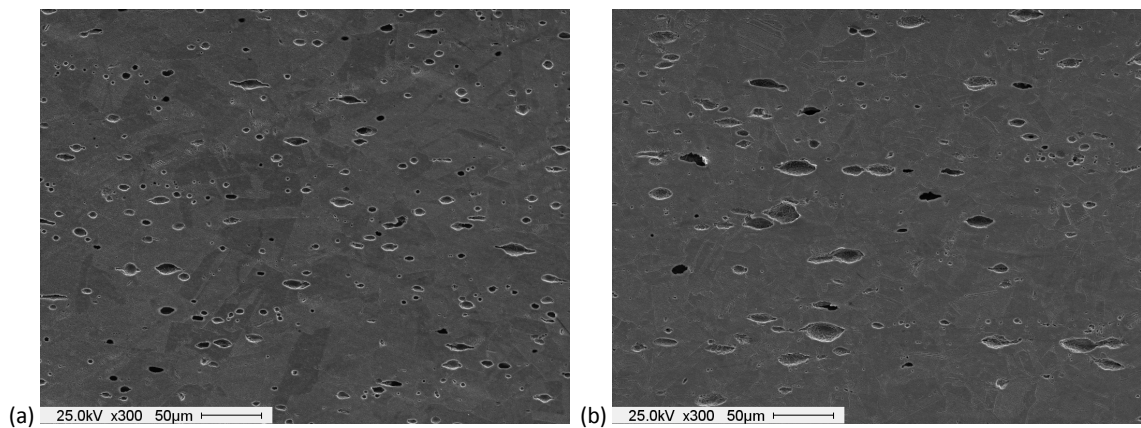


FIGURA A.7.5 – MICROESTRUCTURA DEL CLAVO DE TABLA DE FORRO.

Imágenes SEM del clavo (corte longitudinal), en las que se observa la microestructura de granos equiaxiales, con maclas de recocido e inclusiones alargadas en el sentido del eje de la pieza: (a) astil; (b) punta.

Imágenes: G. Maxia 2012. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

² Los análisis por medio de AAS se realizaron junto con los de OES, en la empresa ya referida. En este caso, se utilizó un equipo Varian, modelo Spectr AA5, calibrado antes de su uso.

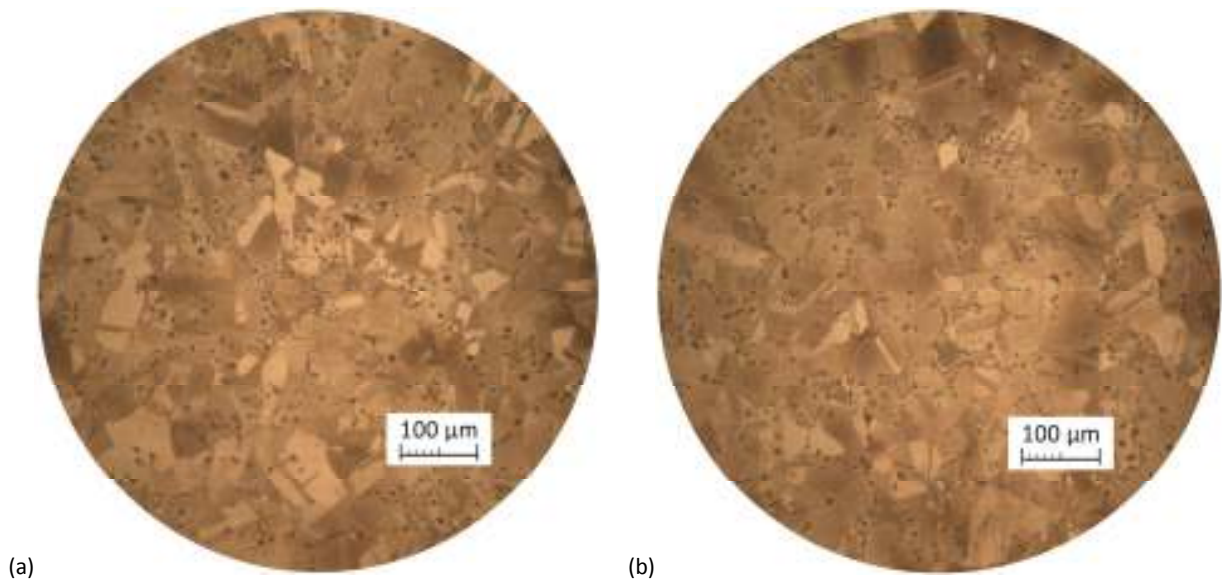


FIGURA A.7.6 – MICROESTRUCTURA DEL CLAVO.

Fotomicrografías de la cabeza del clavo, adonde las inclusiones se encuentran sin una alineación preferencial. Reactivo de ataque: HNO_3 , H_2O .

Fotos: M. C. Lucchetta 2012. Reproducción autorizada, cortesía del GAM (FI-UBA).

Revestimiento del forro

Entre las novedades que presenta el *Triunfante* con respecto a su construcción original, figura el revestimiento de forro con planchas de cobre. Este sistema de protección le fue aplicado al navío en 1782. Debemos resaltar que, debajo de las planchas de cobre, continuó utilizándose el forro de sacrificio (de pino), como medida preventiva para reducir los efectos nocivos de la corrosión galvánica entre las chapas y los elementos de sujeción de hierro. Por esta misma razón, se reemplazaron los herrajes del timón por machos y hembras de bronce (Pujol i Hamelink et al. 2012:129).

En la figura A.7.7, en una vista lateral, se aprecia el aforro de pino con su correspondiente clavazón. Habitualmente las láminas de madera se fijaban con clavos de hierro. En este caso, no obstante, se emplearon clavos de aleación de cobre, dado que el fondo del navío estaba además revestido con chapas de semejante metal. De otro modo, los clavos de hierro hubieran quedado sujetos a un rápido deterioro producto del contacto directo con las planchas del aforro de

cobre, por la misma razón que se comentó para el caso de los pernos y clavos de la estructura.

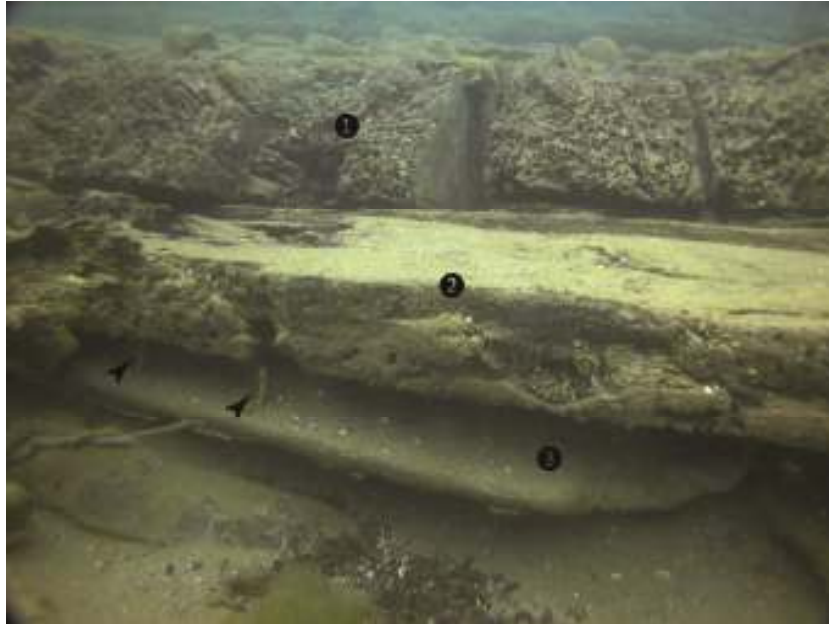


FIGURA A.7.7 – REVESTIMIENTO CON PLANCHAS DE PINO (FORRO DE SACRIFICIO).

Vista de una de las bandas del navío, en la que se aprecian: (1) las ligazones (cuadernas); (2) una de las tablas del forro exterior; y (3) el aforro de madera. Encima de este último iban clavadas las planchas de cobre.

Foto: CASC-MAC 2010. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Planchas metálicas

En diferentes sectores alrededor del sitio se hallaron varias planchas de cobre del revestimiento mencionado; unas en su posición original y otras, desprendidas del forro de sacrificio. Estas últimas fueron recuperadas junto con un conjunto de las tachuelas utilizadas para su fijación (Fig. A.7.8).

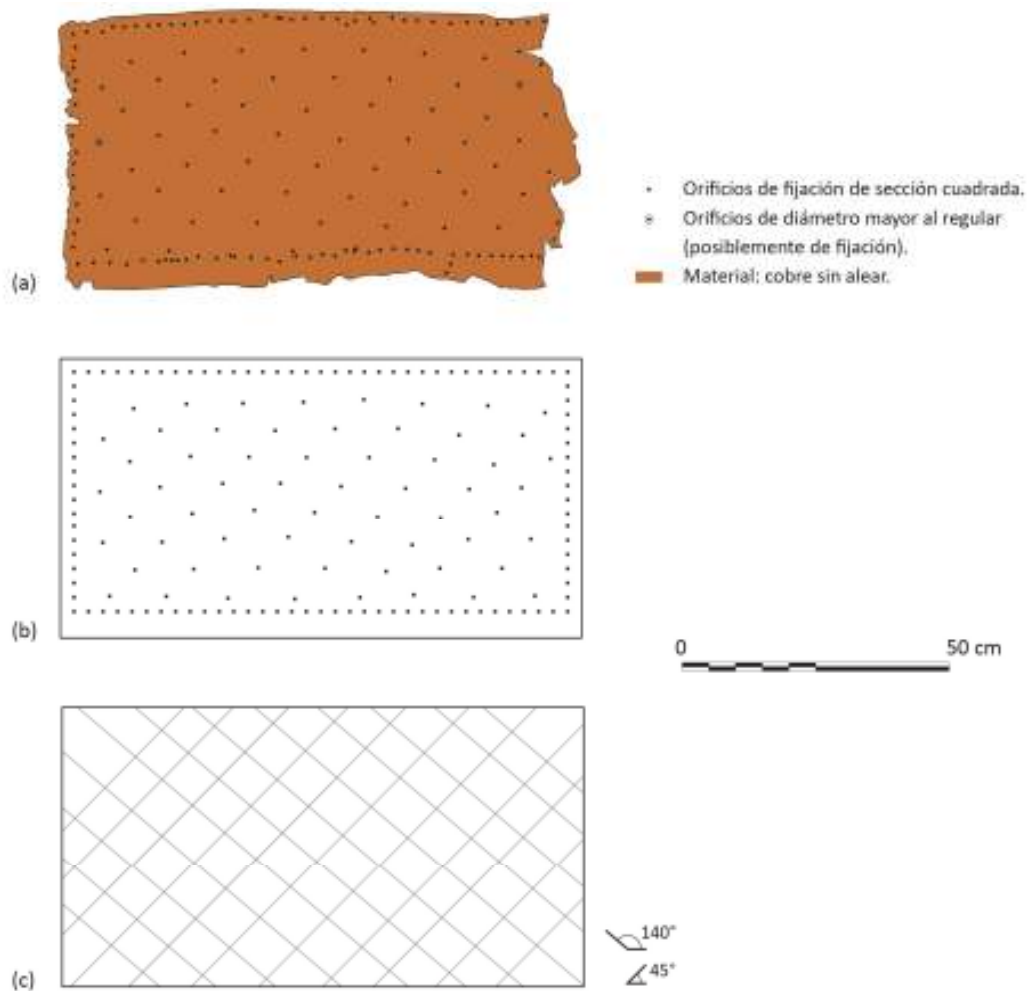


FIGURA A.7.8 – PLANCHA DEL AFORRO DE COBRE.

Ilustración de una de las planchas de cobre halladas en el sitio: (a) dibujo de plancha; (b) distribución de los orificios de fijación (en base a la pieza original); (c) patrón de clavado (en base a la pieza original). Dimensiones aproximadas de la pieza original (alto x longitud): 50 cm x 100 cm.

Gráfico: N. Ciarlo 2014.

En la figura A.7.9 podemos apreciar un detalle de la unión entre dos planchas. La chapa conserva asociada una porción del costado de la plancha a la que se superponía, junto con las tachuelas que las unían entre sí y al casco. Las planchas, como vimos, solían clavarse siguiendo un orden preciso, a saber: de popa hacia proa y de arriba hacia abajo, a fin de favorecer la hidrodinámica del navío.

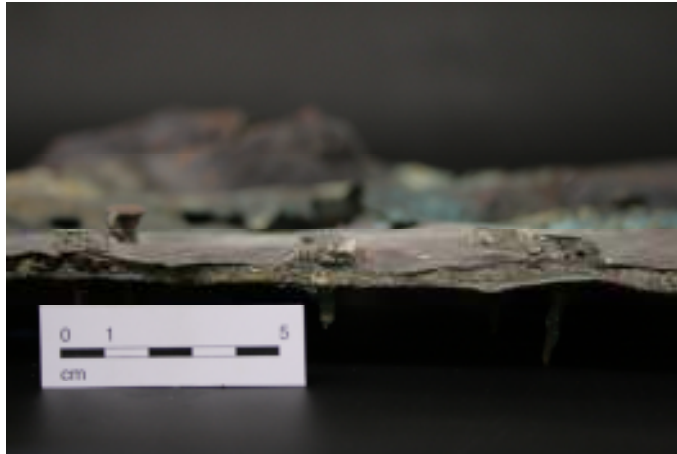


FIGURA A.7.9 – UNIÓN DE DOS PLANCHAS DE COBRE.

Vista del lateral de una de las chapas, que coincide con la zona de superposición con la plancha inferior (de esta última sólo se conserva una tira).

Foto: N. Ciarlo 2011. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

Una de las planchas recuperadas fue cortada en uno de sus costados, a fin de realizar un análisis metalográfico y de composición química. En la figura A.7.10 mostramos la pieza y un detalle de la muestra. Los análisis mediante EDS indicaron que el material empleado para la manufactura de la plancha es cobre sin alear. También se detectó la presencia de inclusiones de óxido de cobre (Cu_2O) y otras con un alto porcentaje de plomo (ca. 33 %), arsénico (ca. 18 %) y proporciones variables de antimonio y bismuto. En algunos casos, estos compuestos se encuentran nucleados en la periferia de las inclusiones de Cu_2O .

Los estudios conducidos por Manuel Bethencourt indicaron que las chapas de cobre con las que fue forrado el *Triunfante* en el arsenal de Cartagena (España) contenían un porcentaje de plomo y arsénico mayor al de las planchas utilizadas en otros lugares de Europa. Al respecto, resaltó este autor, las características microestructurales y la composición química de las piezas recuperadas de naufragios pueden ser utilizados como indicadores para evaluar si dos barcos fueron forrados con planchas de la misma procedencia, o si un mismo barco estaba revestido con chapas de distintos lugares (Bethencourt 2008/9:3,4, 2010).

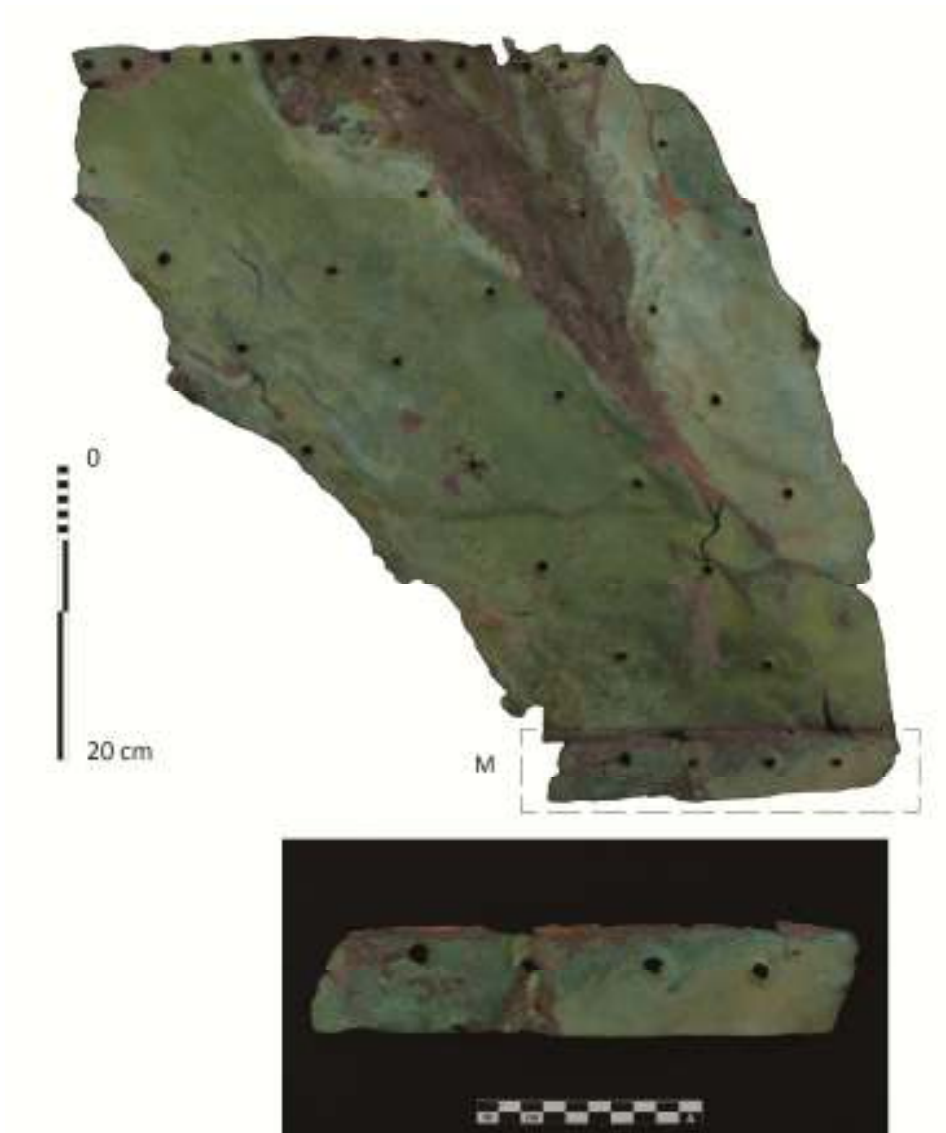


FIGURA A.7.10 – PLANCHA DE FORRO DE COBRE.

Imagen de una de las planchas recuperadas del sitio, junto con un detalle de la muestra seleccionada para análisis.

Fotos: N. Ciarlo 2011 y 2013. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

Por otro lado, debemos mencionar que en el sitio también se hallaron varias chapas de plomo. Este aforro, destinado a mejorar la estanqueidad de los pañoles, fue colocado en el mismo año que el de cobre. Si bien hacia la década de 1790 se cuestionó su efectividad, el navío aún lo conservaba al momento del naufragio

(Pujol i Hamelink 2011:129). Las planchas de plomo están concentradas en el sector de la popa, adonde también se hallaron varios ladrillos. Esta evidencia indica que allí se ubicaba el pañol de pólvora (santabárbara), ya que este recinto iba recubierto con estos materiales (Pujol i Hamelink y Vivar 2009:15). En la figura A.7.11 mostramos una de las planchas que fueron extraídas.



FIGURA A.7.11 – PLANCHA DE PLOMO.

Restos de una de las chapas de plomo halladas en el sector de la popa, adonde se encontraba la Santa Bárbara.

Foto: N. Ciarlo 2011. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

Clavos del forro de sacrificio y tachuelas

Algunos de los elementos de sujeción utilizados para las planchas de pino (forro de sacrificio) y las chapas metálicas (aforro de cobre) se encontraron sueltos entre los restos de la estructura y fueron recuperados para su estudio (véase la Fig. A.7.4). Los ejemplares identificados como clavos para las planchas de madera tienen un astil de sección cuadrada a lo largo de toda su longitud, una cabeza circular y plana (en ambas caras), y una punta con forma de gota (Fig. A.7.12).

Las dimensiones del clavo b1 (véase la Fig. 7.2.4), que se encuentra íntegro, son las siguientes:

- largo total: 84 mm (este valor está algo disminuido, debido a que la pieza se encuentra curvada);
- cabeza: 16 mm (diámetro) y 4 mm (alto);
- astil: 6 x 6 mm (sección a la altura de la cabeza), 5 x 5 mm (sección en el sector medio) y 4 x 4 mm (sección cerca de la punta).



FIGURA A.7.12 – CLAVO DEL FORRO DE SACRIFICIO.

En la imagen se muestra un detalle de la punta del clavo, con forma de gota. Este tipo de punta habría mejorado la capacidad de sujeción del clavo a la madera.

Foto: N. Ciarlo 2011.

Los clavos b3 y b4 (véase la Fig. A.7.4), cuyos astiles están quebrados a unos pocos centímetros de la punta, son ligeramente más pequeños. El primero mide 39 mm de largo, el diámetro de la cabeza es 14 mm y la sección del astil tiene entre 4,5 x 4,5 mm y 4 x 4 mm, de la cabeza hacia la punta. Es preciso resaltar que el eje del astil de este clavo, al igual que el de otros hallados en el sitio, está alineado con el borde de la cabeza y no con su centro. Salvo por esta particularidad, el ejemplar b4 es de morfología similar. En cuanto a sus dimensiones, tiene 42,5 mm de largo, el diámetro de la cabeza es 15 mm y la sección del astil varía entre 5,5 x 5,5 mm y 4

x 4 mm, en el mismo sentido que en los otros casos. Estos clavos debían quedar al ras de la superficie de las planchas de madera (de allí la forma plana de la cabeza), ya que, como vimos, sobre estas últimas iban colocadas las chapas de cobre.

La observación metalográfica del vástago y la cabeza del clavo b1 reveló una microestructura de tipo dendrítica (Fig. A.7.13). Este crecimiento orientado y ramificado de los cristales metálicos se produce, según las condiciones de enfriamiento, durante el proceso de solidificación del metal líquido. Este patrón particular de crecimiento es fácilmente reconocible en aleaciones en las que durante el proceso de solidificación se generan microsegregaciones —desde el centro hacia el borde de las dendritas— de los componentes, que reaccionan de forma diferenciada frente a los reactivos de revelado metalográfico. La evidencia de esta estructura indica que el material fue colado, sin modificación termomecánica posterior. Esto último daría lugar a la homogeneización y recristalización de los granos, y por ende a la eliminación de las dendritas.

La punta de esta pieza presenta una microestructura distinta. En particular, se aprecian signos de deformación plástica sin recristalización, tales como dendritas curvadas, bandas de deslizamiento y líneas de flujo (Fig. A.7.14). Esta evidencia es consistente con la dureza en esta zona (221 ± 17 HV), que es muy superior a la del resto de la pieza, adonde se registraron valores en torno a los 90 HV (Tabla A.7.2). Lo anterior indica que el endurecimiento de la punta fue realizado por martillado en frío de la estructura previamente obtenida por colada.

La composición global del material, según el análisis por medio de EDS, corresponde a una aleación binaria de Cu 93 % y Sn 7 %. En algunos sectores se detectaron inclusiones con un alto contenido de plomo. Es probable que este elemento, considerado como una impureza, estuviera asociado al mineral de cobre que se utilizó para obtener la aleación. El análisis mediante AAS indicó la presencia de Sn 6,8 %, lo cual es coherente con el resultado anterior. También se detectaron otros elementos presentes en el material por debajo del 0,5 %, tales como Zn 0,24 %, Pb 0,15 % y As 0,18 % (véase la Tabla A.7.1).

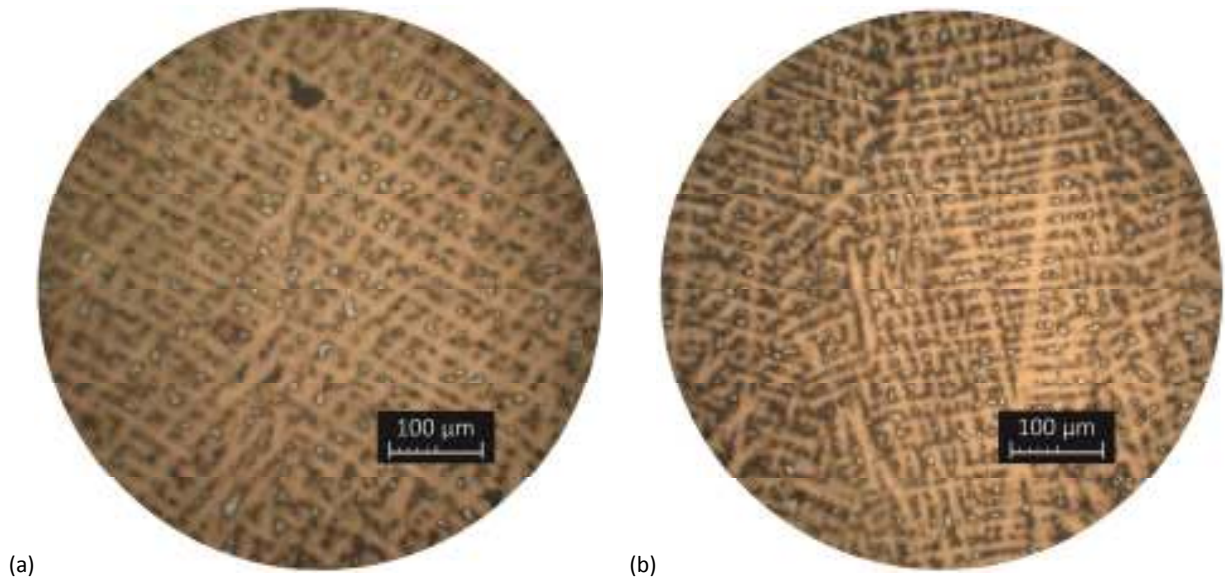


FIGURA A.7.13 – MICROESTRUCTURA DEL CLAVO B1 (CABEZA Y ASTIL).

Fotomicrografías del clavo b1: (a) cabeza del clavo, donde presenta el patrón dendrítico típico de un proceso de colada y solidificación sin modificación termomecánica ulterior; (b) astil del clavo, con semejante microestructura. Reactivo de ataque: HCl, FeCl₃, H₂O.

Fotos: N. Ciarlo 2012.

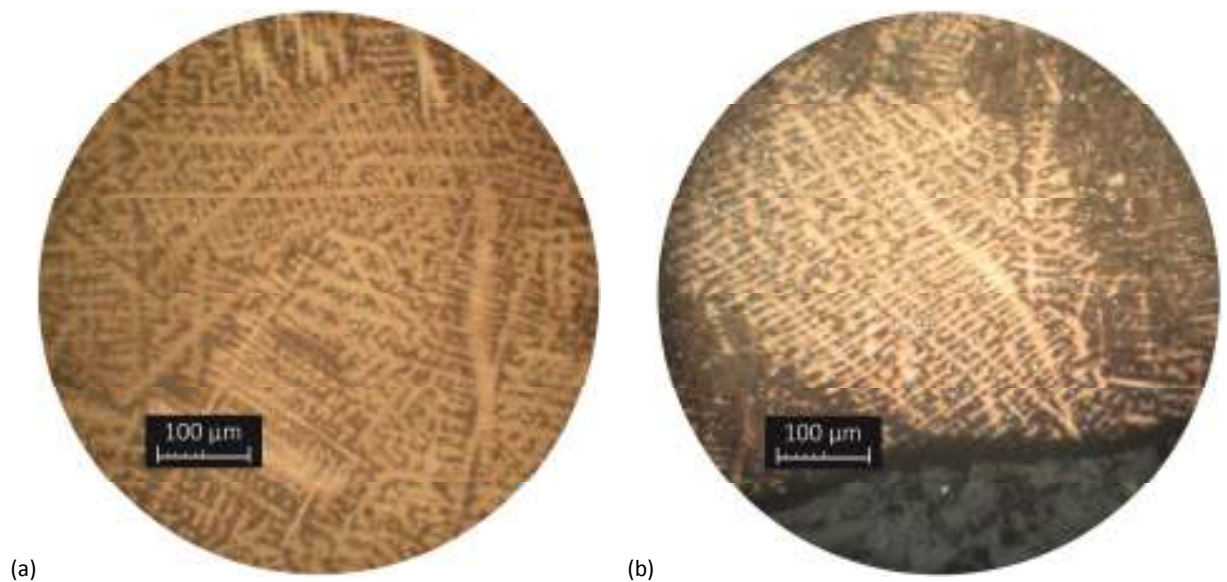


FIGURA A.7.14 – MICROESTRUCTURA DEL CLAVO B1 (PUNTA).

Fotomicrografías de la punta del clavo b1, adonde se observa la deformación de las dendritas debido al esfuerzo mecánico que sufrieron. Reactivo de ataque: HCl, FeCl₃, H₂O.

Fotos: N. Ciarlo 2012.

Los dos clavos quebrados (b3 y b4) presentan una microestructura de tipo dendrítica, con un elevado contenido de microrrechupes (Fig. A.7.15-a,b y Fig. A.7.16-a,b). A grandes rasgos, las distintas partes de ambos clavos (i.e. la punta, el astil y la cabeza) presentan similares características microestructurales. Estos ejemplares fueron realizados de un modo semejante al anterior, i.e. por medio de fundición y colada en molde. En este caso, debido al estado fragmentado que presentan, no fue posible corroborar si sus puntas estuvieron sujetas a algún tipo de deformación plástica luego del proceso de fundición.

Los materiales utilizados en cada una de las piezas presentan algunas diferencias entre sí. Los análisis mediante EDS indicaron que el clavo b3 fue elaborado con una aleación de Cu 96,5 % y Sn 3,5 %. El clavo b4 presenta una composición similar, aunque el porcentaje de estaño es ligeramente mayor (Cu 95 % y Sn 5 %). Durante las mediciones globales, se registraron altos contenidos de aluminio en un sector de este clavo. Por ello, se realizó un mapeo de la zona, con el que se determinó la presencia de algunas inclusiones aisladas, con alto contenido de este elemento. Es probable que se trate de inclusiones exógenas, incorporadas durante el proceso de fabricación (e.g. provenientes de la escoria, el molde o el refractario). Los análisis de composición química realizados por medio de AAS sobre la muestra b4 también concuerdan con los llevados a cabo mediante EDS. Los valores obtenidos fueron: Sn 5,62 % y otros elementos en menor proporción, entre los que es preciso notar Pb 0,341 % y Sb 0,23 % (Tabla A.7.1).

Los valores de dureza de los dos clavos anteriores son similares, aunque presentan leves variaciones según la zona examinada. En la cabeza la dureza es menor que en el astil, relación que se mantiene en ambos clavos (72 ± 4 HV y 88 ± 6 en el caso de b3; 77 ± 1 HV y 80 ± 8 en el caso de b4). La mayor dureza del clavo b1, si consideramos la zona de la cabeza y el astil, cuya microestructura no se encuentra deformada (en este aspecto es semejante a la de los ejemplares b3 y b4), se debe en parte a que la aleación contiene un porcentaje de estaño más elevado.

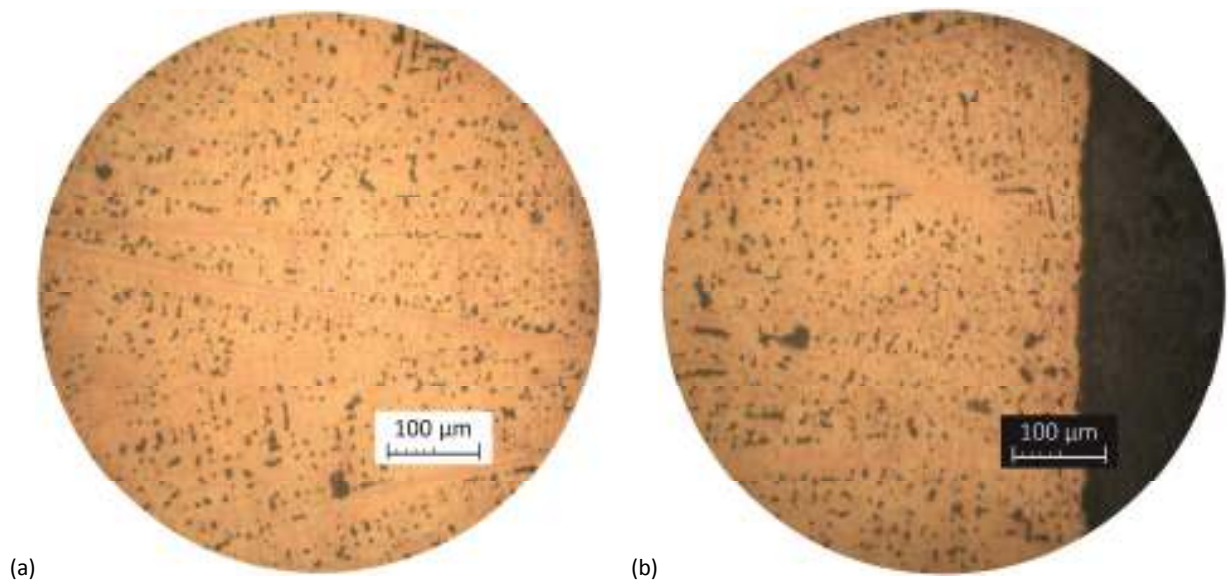


FIGURA A.7.15 – MICROESTRUCTURA DEL CLAVO B3.

Fotomicrografías de dos sectores de la muestra (corte longitudinal): (a) microestructura de la cabeza; (b) borde del astil, que coincide con la pared del molde. Reactivo de ataque: HCl, FeCl₃, H₂O.

Fotos: N. Ciarlo 2012.

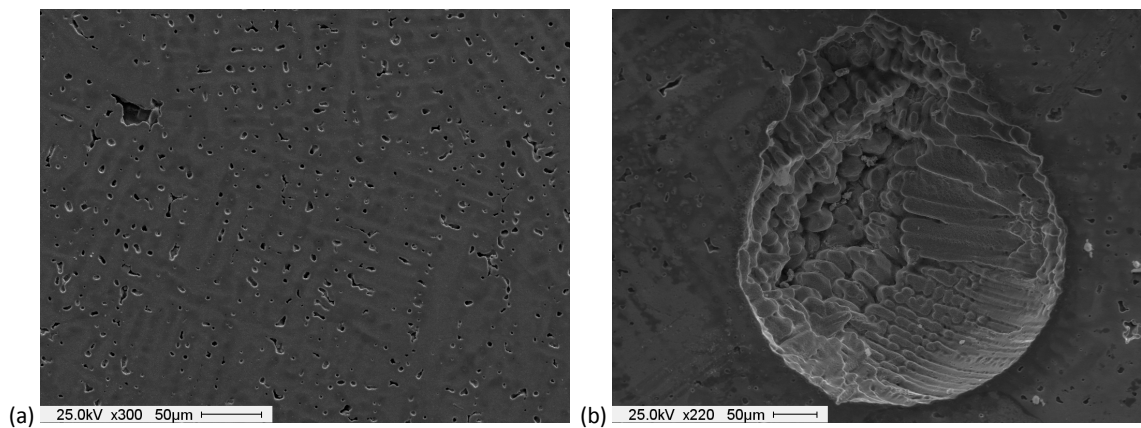


FIGURA A.7.16 – MICROESTRUCTURA DE LOS CLAVOS DEL FORRO DE SACRIFICIO.

Imágenes SEM de los dos clavos quebrados (corte longitudinal): (a) microestructura de tipo dendrítico, con presencia de microrrechupes (cabeza del clavo b3); (b) detalle de un poro, dentro del que se puede apreciar el patrón de crecimiento arborescente de las dendritas (cabeza del clavo b4, cerca del borde).

Imágenes: G. Maxia 2012. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

Por otro lado, analizamos una de las tachuelas utilizadas para fijar las chapas del aforro de cobre, que no se encontraba cubierta por concreciones. Estos elementos de sujeción poseen la siguiente morfología característica: un astil de sección cuadrada, terminado en punta; y una cabeza circular, plana por su parte superior y cónica en la unión con el astil. Las dimensiones del ejemplar seleccionado en esta tesis se listan a continuación:

- largo total: 38 mm;
- cabeza: 12,5 mm (diámetro);
- astil: 5 x 5 mm (sección a la altura de la cabeza), 3,5 x 3,5 mm (sección en el sector medio) y 2,5 x 2,5 mm (sección cerca de la punta).

Al igual que en los casos anteriores, la microestructura de la pieza es de tipo dendrítico. Cabe resaltar que la tachuela presenta una importante concentración de poros en toda su extensión, cercanos a uno de los lados, i.e. a una de las paredes del molde (Fig. A.7.17). La porosidad gaseosa es una característica asociada al proceso de moldeo y solidificación. En particular, los poros pueden deberse a la expansión de gases disueltos en el metal líquido durante la solidificación, o ser el resultado de una reacción entre el molde y el metal (véase Fruehan 1992). La cantidad de poros registrada en esta tachuela, así como su ubicación, sugieren que estos se formaron debido a la segunda de las causas, probablemente a la existencia de humedad sobre un sector de la superficie interna del molde.

Un primer análisis de la composición química del material por medio de EDS indicó que fue hecha con una aleación ternaria de Cu 88 %, Sn 10 % y Zn 2 %. También se detectaron rastros de azufre (2 a 4 %) y silicio (<1 %) en el interior de varios poros.³ El posterior análisis global mediante AAS indicó que el cobre se encuentra aleado con los siguientes elementos: Sn 10,5 %, Pb 7,92 % y Zn 4,2 %. También se detectaron otros elementos en bajas concentraciones, tales como Fe 0,332 % y As 0,185 %.

³ Dentro de algunos de los poros del clavo b4 también se registró la presencia de azufre y silicio, aunque en menores proporciones (1 a 2%).

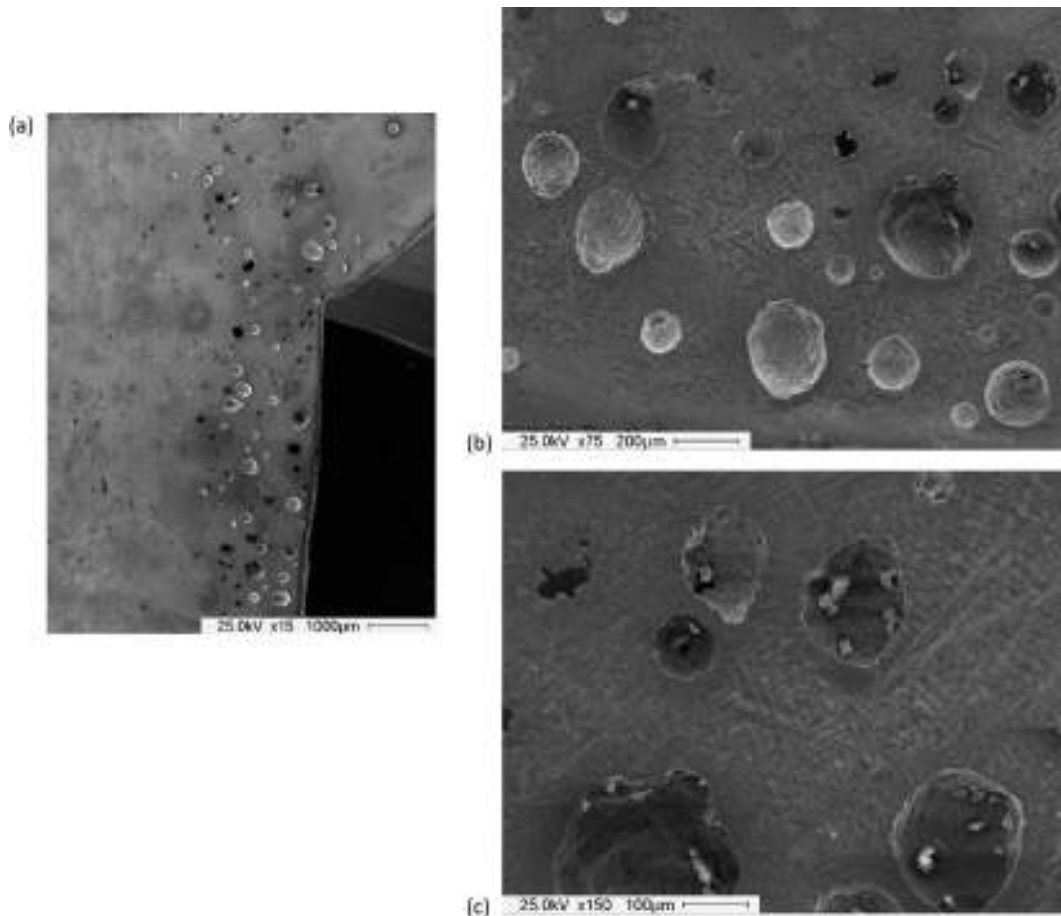


FIGURA A.7.17 – MICROESTRUCTURA DE LA TACHUELA DE AFORRO DE COBRE.

Imágenes SEM de la tachuela (corte longitudinal): (a) vista de la cabeza y parte superior del astil; (b y c) detalles de la microestructura de tipo dendrítica, en la zona del borde del astil (cerca de la cabeza), adonde hay gran cantidad de poros.

Imágenes: G. Maxia 2012. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

La tachuela posee una dureza similar a lo largo de toda su extensión: 96 ± 5 HV (cabeza) y 96 ± 1 HV (astil). La diferencia con respecto a los clavos del forro de sacrificio (si dejamos de lado el valor en la punta del clavo b1, que está muy deformada), se debe principalmente a la composición heterogénea de los ejemplares. En particular, la mayor dureza de la tachuela guarda relación con el contenido de estaño, superior al del resto, así como con la presencia de zinc.

Elementos de la jarcia firme y de labor

En las inmediaciones de los restos estructurales de madera se hallaron algunas piezas relacionadas con la jarcia firme y de labor del barco. De estos analizamos el zuncho de una vigota, el gancho de un motón y la roldana de un cuadernal de tres ojos. Los objetos de madera y metal mencionados fueron extraídos y conservados en el laboratorio del CASC, adonde yacen hoy en día junto al resto de la colección del sitio.

Vigotas

Las vigotas, recordemos, consistían en una pieza de madera circular y chata, con dos o tres agujeros, por los que pasaban los acolladores que servían para tesar las jarcias. En el extremo de cada uno de los obenques que se extendían desde las cabezas de los palos o masteleros, para sujetarlos por una y otra banda, se engazaba una vigota. La otra iba cosida a esta última por medio de los acolladores. Además, llevaba un zuncho y cadena o planchuela de hierro (vigota con gaza de hierro), para hacerse firme en la mesa de guarnición o en la cofa, según el caso (O'Scanlan 1831:385,386,558).

Durante la campaña de 2008 se recuperaron, entre otros artefactos, dos vigotas de madera (Pujol i Hamelink y Vivar 2009a:9). La más entera fue hallada en el área de proa, sobre las tablas del forro interno de la banda de babor, y conserva parte del zuncho de hierro. En la figura A.7.18 mostramos esta pieza, tal como se encontraba en el sitio antes de ser recuperada. El estado de la vigota luego del tratamiento de conservación puede apreciarse en la figura A.7.19. La pieza posee un diámetro de ca. 38 cm y ca. 20 cm de grosor, y los orificios por donde pasaba el acollador tienen un diámetro de 43 mm. La otra vigota tiene un tamaño semejante a la anterior, pero se encuentra en peor estado de conservación y no posee gaza.



FIGURA A.7.18 – VIGOTA, *IN SITU*.

En la imagen podemos apreciar a la pieza, cubierta de forma parcial con concreciones y sedimento. Graduación de la escala: 10 cm.

Foto: CASC-MAC 2008. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

En el sitio también hay numerosos artefactos de hierro concrecionados, que se encuentran adheridos a la superficie del forro interior e incluso en alrededores de los restos de madera de la estructura (Fig. A.7.20). Algunas de estas piezas corresponden a elementos de la jarcia firme, en particular zunchos y cadenotes.

Por otro lado, entre los artefactos de hierro del *Triunfante* que se encuentran localizados en el Museo Marítimo de Barcelona, hay dos zunchos (o gazas de hierro) de vigota, uno de estos con el correspondiente cadenote enganchado, viz: Nos. 14042 y 14051, respectivamente (Fig. A.7.21).

Aquí analizamos el zuncho de hierro de la vigota recuperada por el CASC, a la que hicimos referencia en primer lugar. La muestra se obtuvo de la parte inferior de la pieza, de uno de los extremos rotos del fleje (cerca del final de la acanaladura perimetral en la que iba engastado).

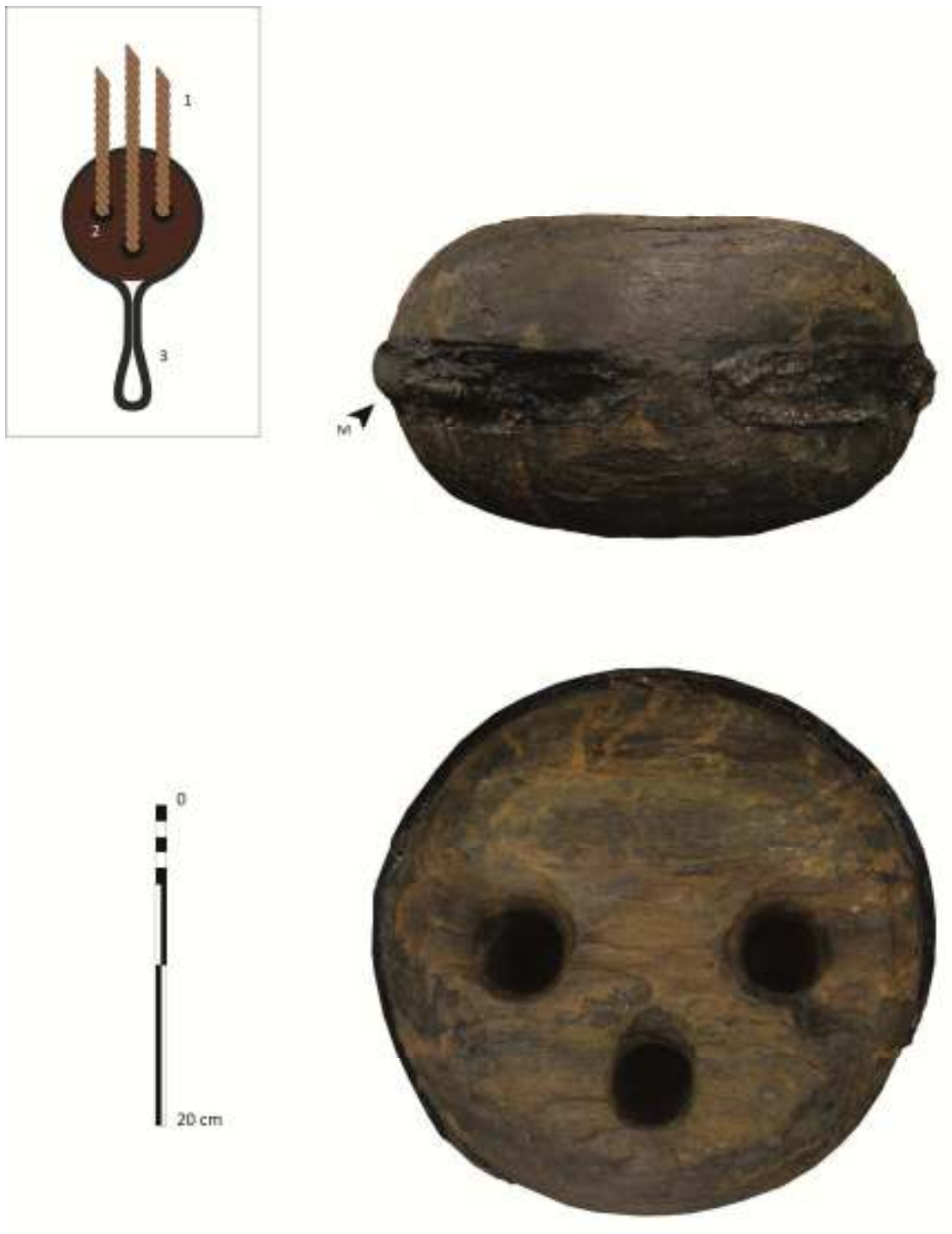


FIGURA A.7.19 – VIGOTA CON GAZA DE HIERRO.

Imágenes del frente y la parte inferior de una de las vigotas halladas en el sitio. En el recuadro de arriba a la izquierda se ilustra una típica vigota de madera, con las siguientes indicaciones: 1) acollador; 2) ojo o groera; y 3) zuncho.

Fotos: N. Ciarlo 2011. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.



FIGURA A.7.20 – ZUNCHOS Y OTROS OBJETOS DE HIERRO.

Acumulación de artefactos en la zona de popa, entre los que se aprecian varios objetos de hierro concrecionados, ligados entre sí y a la superficie del sitio.

Foto: CASC-MAC 2009. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.



FIGURA A.7.21 – ZUNCHO DE VIGOTA Y CADENOTE.

Restos de la jarcia firme recuperados del sitio *Triunfante* con anterioridad a las investigaciones del CASC: zuncho de vigota (1) y cadenote (2). No se preservan los restos de madera de la pieza.

Fuente: Museo Marítimo de Barcelona, España.

El examen metalográfico de la muestra, llevado a cabo por medio de OM y SEM, permitió apreciar una microestructura formada por granos equiaxiales de ferrita y, en algunos sectores, perlita laminar. Los granos tienen un tamaño heterogéneo, con un bajo contenido de carbono, aunque variable según el área observada. En la mayor parte de la estructura, el contenido aparente de este último elemento es prácticamente nulo (<0,1 %), mientras que en la zona próxima al borde,⁴ donde el tamaño de grano es relativamente menor, es del orden de 0,2 % (Fig. A.7.22-a,b y Fig. A.7.23-a,b).

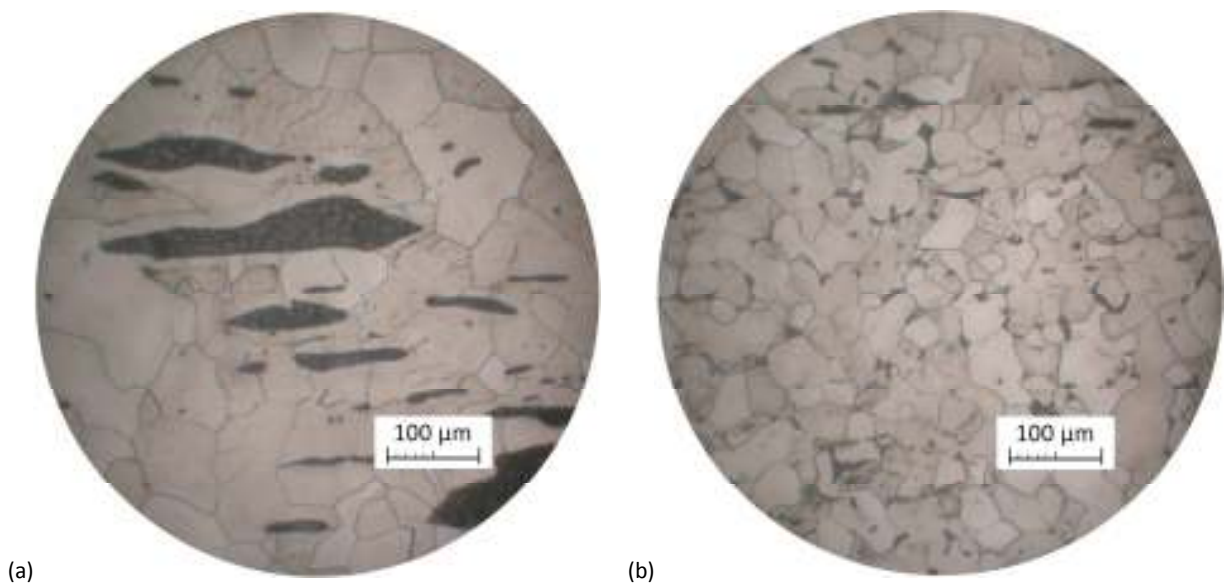


FIGURA A.7.22 – MICROESTRUCTURA DEL ZUNCHO DE VIGOTA.

Fotomicrografías de dos sectores de la muestra (corte longitudinal): (a) granos de ferrita e inclusiones alargadas de silicatos y óxido de hierro; y (b) granos de ferrita y perlita laminar, en el área del borde de la muestra. Nótese la diferencia en el tamaño de los granos. Reactivo de ataque: Nital 2 % (NO_3H al 2 %, en alcohol etílico).

Fotos: N. Ciarlo 2012.

En varios sectores de la probeta se observaron inclusiones no metálicas alargadas (en el sentido del conformado), que morfológicamente se adscribieron a

⁴ Esta zona exterior de la muestra no coincide con el borde original del zuncho (sector próximo a la superficie), dada la pérdida de volumen que experimentó el fleje de hierro a causa de la corrosión.

fayalita (Fe_2SiO_4) y wüstita (FeO). Estas últimas presentan dos tipos de estructuras: en un caso la wüstita aparece con forma globular, en una matriz continua de fayalita (modo predominante); en el otro, la wüstita tiene una morfología dendrítica (Fig. A.7.23-c,d). Además, se detectaron otras más pequeñas, de óxidos globulares. El análisis por medio de EDS de las inclusiones preliminarmente identificadas como silicatos y óxido de hierro, indicó la presencia de hierro, silicio, calcio, manganeso y potasio. La wüstita, tanto en el caso de la formación globular como de la dendrítica, está asociada a cierto contenido de manganeso (ca. 4 %). La fayalita, por otro lado, contiene calcio, manganeso y potasio en reducida proporción. La composición química de esta muestra está detallada en la tabla A.7.1. El contenido de carbono es 0,04 %, mientras que fue detectado 0,052 % de fósforo y 0,003 % de azufre.

Las características descritas indican que el zuncho fue manufacturado a partir de una aleación ferrosa con un contenido de carbono bajo, que comúnmente se denomina hierro forjado, en referencia a la forma de obtención mediante martillado en caliente. El material utilizado para fabricar el zuncho podía obtenerse o bien a partir de un proceso de reducción del mineral sin pasar por el estado líquido, o bien del afino de una fundición de hierro. En cualquiera de los dos casos, a grandes rasgos, el producto resultante tendría las características del material que nos ocupa (i.e. bajos contenidos de carbono, distribuido de manera no uniforme). El material también solía incluir una gran cantidad de escoria que, en función de la pericia del herrero, podía ser ulteriormente eliminada en mayor o menor grado durante el proceso de martillado. Las inclusiones de silicatos y óxido de hierro que pueden verse en la muestra analizada corresponden al contenido remanente. Por otro lado, los óxidos globulares más pequeños estarían asociados al calentamiento a alta temperatura (se estima superior a los 1.100 °C) del zuncho durante el proceso de forja.

La dureza de la pieza es 97 ± 10 HV. Este valor es consistente con la microestructura descrita (ferrita con cierto contenido de inclusiones). Corresponde a una resistencia a la tracción aproximada de 350 MPa, i.e. 35 kg/mm^2 (Apraiz 1964:509). Vale aclarar que esta cifra se aplica al caso de un material homogéneo, por lo que debe considerarse algo sobreestimada para las muestras arqueológicas aquí analizadas

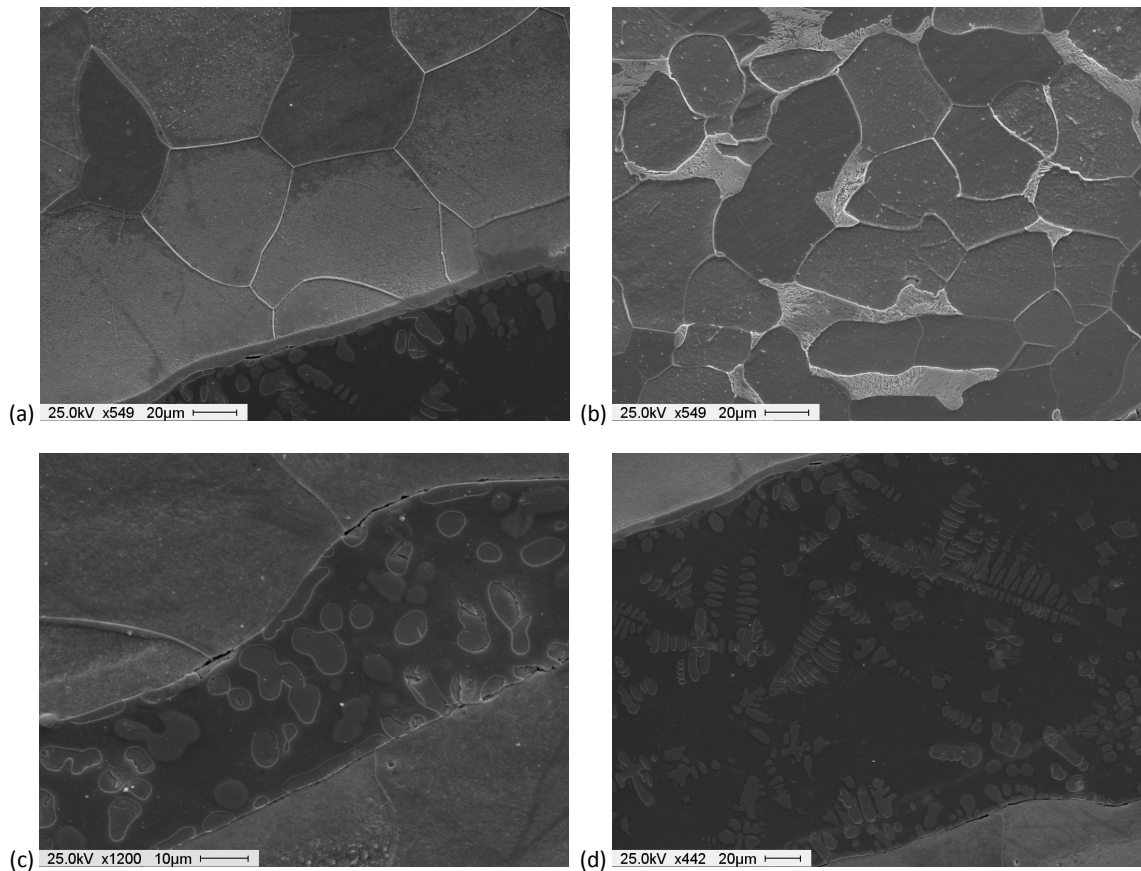


FIGURA A.7.23 – MICROESTRUCTURA DEL ZUNCHO DE VIGOTA.

Imágenes SEM de la microestructura de la muestra (corte longitudinal): (a) granos de ferrita; (b) granos de ferrita y perlita laminar (borde de la muestra); (c) inclusión de silicatos y óxido de hierro, en la que se aprecia el crecimiento de tipo globular de la wüstita; y (d) otra de las inclusiones, adonde la wüstita presenta un crecimiento de tipo dendrítico.

Imágenes: G. Maxia 2012. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

Motones y cuadernal

Los motones estaban formados por una caja o cuerpo de forma oval, en cuyo interior (cajera) giraba una roldana de madera o metal. Adquirían diferentes nombres, según sus características y el uso que se les daba. Los cuadernales eran una especie de motón con dos o más cajeras y sus correspondientes roldanas. Las dimensiones y cantidad de cajeras que tenía cada cuadernal dependían del objeto al que se aplicaba o la fuerza que era ejercida sobre este. Estos también recibían variados títulos (O'Scanlan 1831:190,374,375).

Este tipo de artefactos solía formar los aparejos empleados a bordo. La combinación de dos motones —unidos entre sí por medio de una cuerda, con sus cajas y roldanas en el mismo plano—, formaba un aparejo sencillo (o polea, en el sentido restringido).⁵ Cuando el sistema estaba formado por cuadernales de dos o más garruchas, el aparejo era doble, y se denominaba de cuatro, seis, etc. cordones o guarnes, según el número de vueltas que daba la cuerda (O'Scanlan 1831:42,428). Este mecanismo servía para levantar o mover cargas (e.g. anclas y cañones), dado el efecto multiplicador que tenía sobre el esfuerzo aplicado, es decir, su ventaja mecánica. El tipo de motones y cuadernales empleados, y el modo en que se combinaban, para formar las diferentes clases de aparejos, dependía de los requerimientos de cada situación a bordo.

Durante la campaña de 2009 se recuperó un conjunto de cabos y dos motones, cuya caja y roldana se encontraban en buenas condiciones de preservación. Ambas poleas se hallaron en el sector de popa, debajo de las tablas del forro exterior (Pujol i Hamelink y Vivar 2009b:11). En 2010, en el sector de la proa y debajo de las tablas del forro exterior se hallaron un motón y un cuadernal de tres ojos (Pujol i Hamelink y Vivar 2011:8). En la figura A.7.24 se observa la situación en la que se encontraron los dos últimos artefactos durante las excavaciones.

El motón del *Triunfante* hallado en 2010 (Fig. A.7.25) estaba provisto de un gancho de hierro, que en la actualidad se encuentra desprendido por el avanzado deterioro del material. El gancho tiene la forma de una U, con las siguientes dimensiones: 310 mm de alto y 250 mm de ancho (Fig. A.7.26). El lado más corto mide 215 mm desde la base, mientras que el otro alcanza los 240 mm en el vértice donde nacen los dos flejes que formaban el zuncho. El fleje curvo (gancho propiamente dicho) tiene un ancho y espesor variables, según la altura y debido al estado irregular de corrosión. La parte más robusta (cerca de la unión con el motón) tiene ca. 75 x 65 mm, mientras que hacia el otro extremo, donde el deterioro fue más severo, disminuye hasta ca. 55 x 55 mm. Cerca de la punta exhibe una depresión circular (no pasante) de unos 22 mm de diámetro. La muestra para análisis fue extraída a la altura de la unión con el motón, i.e. corresponde a uno de los extremos del zuncho.

⁵ Esta voz también se aplicaba a toda clase de motones y cuadernales (en este sentido se decía también garrucha).



FIGURA A.7.24 – MOTÓN Y CUADERNAL, *IN SITU*.

En primer plano se aprecia el motón, parcialmente cubierto por concreciones. Detrás se encuentra el cuadernal de tres ojos, que tiene descubiertas las roldanas.

Foto: CASC-MAC 2010. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Los productos de corrosión que se observan en una de las escotaduras del motón corresponden a los restos del zuncho de hierro de sección rectangular, que mantenía el gancho firme a la caja. Uno de los factores que intervienen en el tipo de deterioro que sufren los artefactos de hierro en contextos subacuáticos es el método de manufactura empleado. En este caso, el gancho presenta un patrón corrosivo (intergranular) que es característico de las piezas de hierro forjado (véase North y MacLeod 1987). La pieza está muy afectada, por lo que a ojo desnudo pueden apreciarse las fibras del hierro forjado. La direccionalidad que presentan estas últimas está relacionada con la alineación que adquirieron las inclusiones del material durante el martillado. El perno de hierro, como vimos, experimentó una pérdida de material semejante. En la Fig. A.7.27 podemos ver la zona donde nace el cuerpo del gancho, como resultado de la unión mediante martillado de los dos extremos del zuncho.



FIGURA A.7.25 – MOTÓN.

Imágenes del frente y perfil del motón hallado junto al cuadernal. En el recuadro de arriba a la izquierda se ilustra un motón con gancho de hierro, con las siguientes referencias que indican: 1) guarne (porción del cabo comprendida entre las poleas); 2), quijada (laterales de la caja); 3) groera (orificio) y perno (eje de la roldana); 4) cuello; 5) culo; 6) escotadura; y 7) gancho.

Fotos: N. Ciarlo 2011. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.



FIGURA A.7.26 – GANCHO DE MOTÓN.

Gancho de hierro asociado al motón hallado en la proa. Nótese el deterioro, característico de los artefactos de hierro forjado.

Foto: N. Ciarlo 2011. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.



FIGURA A.7.27 – EVIDENCIAS DE FORJADO.

Gancho de motón: (a) vista frontal de la pieza (la referencia M indica el lugar de donde se obtuvo la muestra); (b) fotografía de la zona de unión de los extremos del zuncho; y (c) ilustración en la que resaltamos las vetas mencionadas, indicios macroscópicos del conformado original del gancho.

Foto y gráfico: N. Ciarlo 2011. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

La microestructura de la pieza está constituida por granos de ferrita, con un bajo porcentaje de carbono, aunque ligeramente variable. En general, el contenido aparente es prácticamente nulo ($<0,1\%$), con presencia de cementita vermicular en borde de grano (Fig. A.7.28-a), aunque en algunos sectores el porcentaje aparente varía entre $0,1$ y $0,2\%$ (Fig. A.7.28-b). La ferrita presenta una microestructura equiaxial en la mayor parte de la muestra, con tamaño de grano variable. Estas características indican que el material fue calentado a alta temperatura (se estima superior a $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante el forjado, y sometido a un enfriamiento lento. Por otro lado, en las zonas con mayor porcentaje de carbono, la ferrita aparece de forma acicular, contorneada por segundas fases (véase la Fig. A.7.28-b). Ello sugiere que, durante la última instancia de conformado, esta porción del material tuvo un enfriamiento brusco.

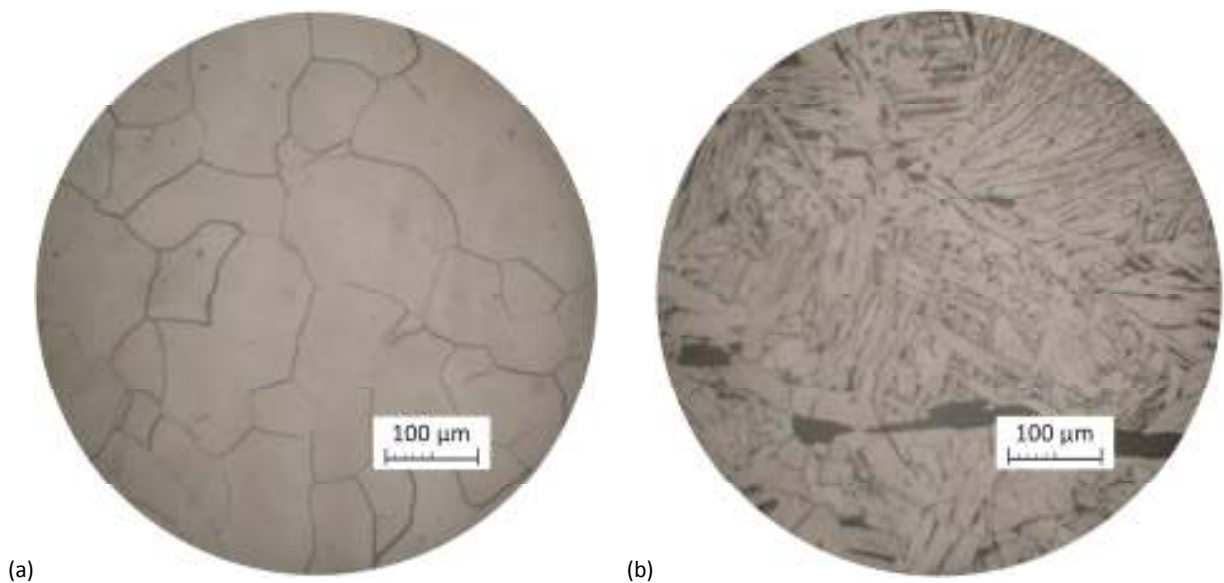


FIGURA A.7.28 – MICROESTRUCTURA DEL GANCHO DE MOTÓN.

Fotomicrografías del gancho de hierro: (a) microestructura de granos de ferrita con un contenido de carbono $<0,1\%$ (corte longitudinal); (b) microestructura de granos de ferrita, con un contenido de carbono entre $0,1$ y $0,2\%$ (corte transversal). Reactivo de ataque: Nital 3% .

Fotos: N. Ciarlo 2012.

El material posee inclusiones de silicatos y óxido de hierro, con una morfología similar a la que presentan la fayalita y la wüstita. La estructura de las inclusiones es de dos tipos: en un caso la wüstita se presenta con forma globular, en una matriz continua de fayalita; en el otro, la wüstita es dendrítica y la fayalita de tipo acicular (Fig. A.7.29-a,b). Las inclusiones se encuentran alargadas, producto de las operaciones de conformado. El análisis por medio de EDS permitió determinar la existencia de varias inclusiones globulares, ricas en silicio, fósforo, manganeso, calcio y potasio. Ello evidencia que el mineral de hierro utilizado contenía cierta cantidad de fósforo. Una fracción de este se habría disuelto en la ferrita, mientras que otra reaccionó con el calcio contenido en el mineral o el fundente, y se incorporó a la escoria.

La composición global de la muestra fue obtenida mediante OES e IR. El contenido de C es muy bajo (<0,01 %), mientras que tiene P 0,059 % y S 0,012 % (véase la Tabla A.7.1).

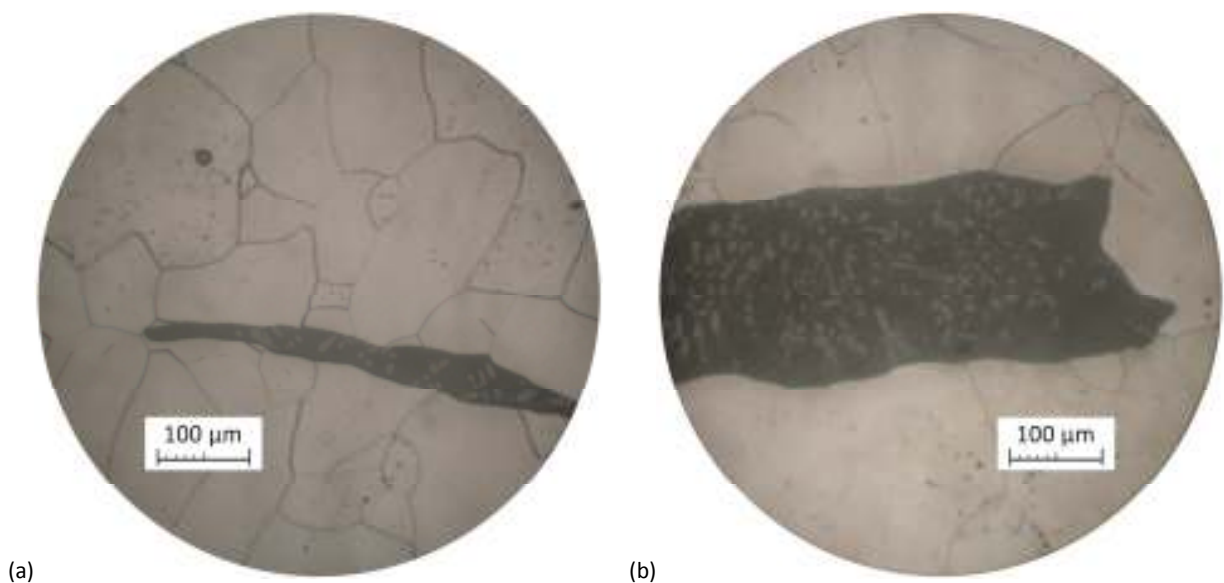


FIGURA A.7.29 – INCLUSIONES NO METÁLICAS DEL GANCHO.

Detalle de los dos tipos de inclusiones que presenta el material: (a) inclusión con wüstita globular, en una matriz continua de fayalita (corte longitudinal); (b) inclusión con wüstita dendrítica, en una matriz de fayalita acicular (corte transversal). Reactivo de ataque: Nital 3 %.

Fotos: N. Ciarlo 2012.

Los valores de dureza son variables, según el área considerada. Mediciones realizadas en el corte longitudinal, sobre una zona con precipitados, arrojaron los valores más elevados (106 ± 6). Es probable que ello se deba a la presencia de cantidades variables de nitrógeno, que se pueden presentar en hierros de bajo contenido de carbono procesados a alta temperatura, u otro elemento disuelto en la matriz. La dureza promedio se corresponde con una resistencia a la tracción del orden de los 375 MPa, i.e. $37,5 \text{ kg/mm}^2$ (Apraiz 1964:509).

En cuanto a la pieza que se encontraba junto al motón, como vimos, se trata de un cuadernal de tres ojos (Fig. A.7.30). La caja de madera se conserva en gran parte, aunque está muy derruida en uno de sus lados (no fue posible distinguir si se trata de la parte superior o inferior), que se encontraba más expuesto. La ausencia de escotaduras, así como la coloración y concreciones superficiales de los costados al momento de su recuperación, sugieren que debió estar guarnecido con algún tipo de zuncho de hierro rectangular. Respecto de su utilización a bordo, el emplazamiento en el que se halló sugiere que podría tratarse de un cuadernal del aparejo de gata (aquel empleado para la maniobra de las anclas de proa, véase el capítulo 7).

Con fines analíticos, obtuvimos una muestra de una de las roldanas del objeto. El diámetro de estos componentes del cuadernal no pudo examinarse; por otro lado, el espesor es 52,5 mm (y la acanaladura por donde pasaba el cabo, 42,5 mm). El fragmento metálico se extrajo de un sector del perímetro de la rueda, que yacía expuesto sobre el borde erosionado de la cajera (Fig. A.7.31).

La observación metalográfica reveló una microestructura de tipo dendrítica, con presencia de microsegregaciones y rechupes (Fig. A.7.32 y Fig. A.7.33). Estas características indican que la roldana fue fabricada mediante un proceso de colada y solidificación del material. La aleación empleada presenta dos microconstituyentes principales, a saber: 1) fase mayoritaria o matriz con características de solución sólida; y 2) formación bifásica de tipo eutéctico o eutectoide (véase la Fig. A.7.32). También se apreciaron, en menor proporción, pequeñas partículas precipitadas de otras fases.

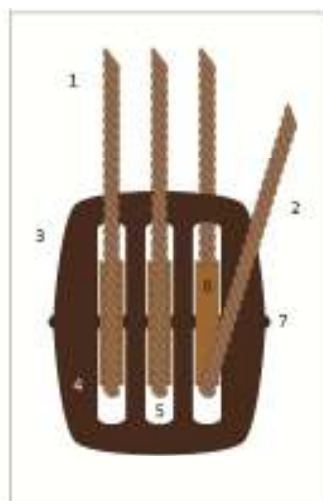


FIGURA A.7.30 – CUADERNAL DE TRES OJOS.

Imágenes del frente y perfil del cuadernal extraído del sitio. En el recuadro de arriba a la izquierda se ilustra un típico cuadernal, con las referencias de los siguientes elementos: 1) guarne; 2) tira (segmento del cabo por donde se hala); 3) caja o cuerpo; 4) cajera (abertura o escopleadura adonde se ubica y gira la roldana); 5) garganta (agujero por donde pasa el cabo); 6) roldana; y 7) perno o eje.

Fotos: N. Ciarlo 2011. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.



FIGURA A.7.31 – MUESTRA DE UNA ROLDANA DEL CUADERNAL.

En la imagen se ilustra el corte para la obtención de la muestra de una de las roldanas del cuadernal, realizado sobre la circunferencia mediante una pequeña sierra de arco.

Foto: R. Geli 2011. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

Los análisis de composición química global, realizados por medio de OES y AAS, indicaron que el material utilizado fue una aleación cuaternaria de Cu 79,9 %, Sn 9,33 %, Pb 5,9 % y Zn 3,25 %. Además, se detectaron otros elementos minoritarios, en la siguiente proporción: As >0,48 % (por encima del límite de detección del equipo), Sb 0,376 %, Fe 0,245 % y Ni 0,155 %, por mencionar los principales.

Por otro lado, mediante el análisis de EDS fue posible precisar que la matriz de la roldana está compuesta, de modo aproximado, por Cu 89 %, Sn 6 % y Zn 5 %, mientras que el constituyente bifásico consiste en Cu 79 % y Sn 21 %. En las fases minoritarias observadas se detectaron contenidos variables de cobre, estaño, zinc, hierro y carbono.

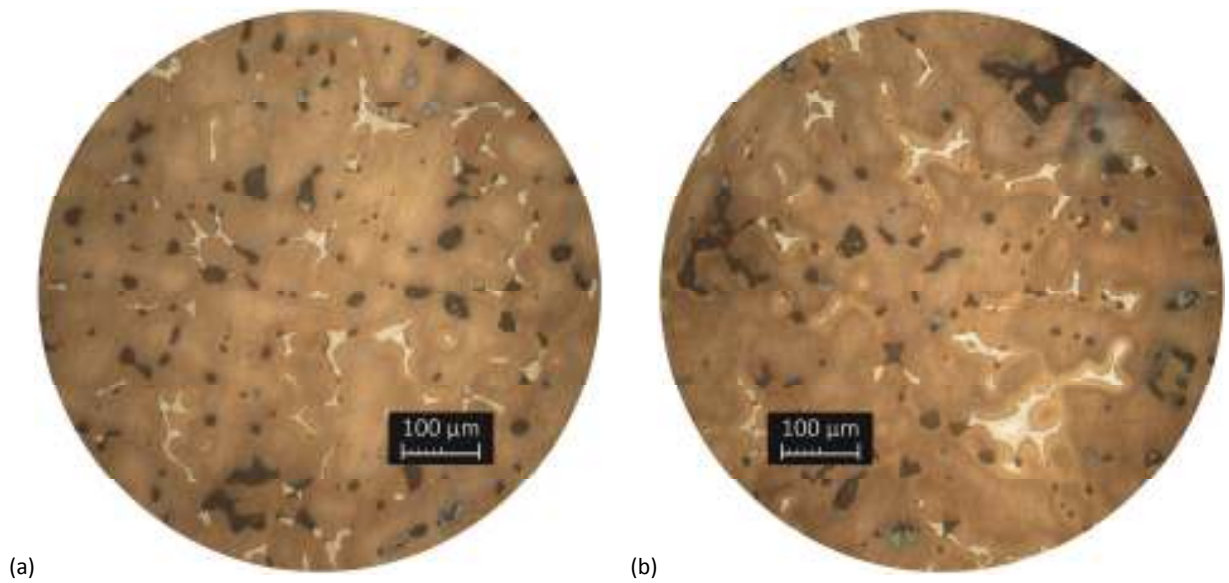


FIGURA A.7.32 – MICROESTRUCTURA DE LA ROLDANA DE CUADERNAL.

Fotomicrografías de la microestructura: (a y b) dos sectores de la muestra, en los que se aprecia la matriz de solución sólida, un microconstituyente bifásico, poros, microrrechupes y partículas de precipitados. Reactivo de ataque: HCl, FeCl₃, H₂O.

Fotos: M. C. Lucchetta 2012. Reproducción autorizada, cortesía del GAM (FI-UBA).

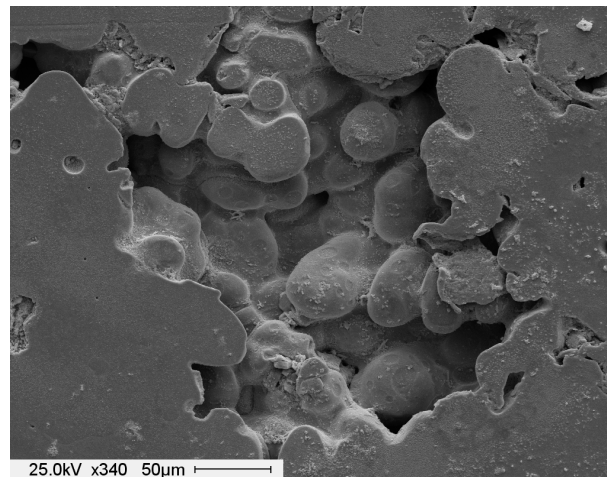


FIGURA A.7.33 – PATRÓN DE CRECIMIENTO DENDRÍTICO.

Imagen SEM de la microestructura, donde se ve el patrón de crecimiento dendrítico dentro de uno de los microrrechupes que presenta la roldana.

Imagen: G. Maxia 2012. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

La formación bifásica mencionada corresponde al eutectoide (alfa + delta) del sistema cobre-estaño. La cantidad de este constituyente depende, además del contenido de estaño y zinc, de la temperatura de colada y de la velocidad de enfriamiento durante el proceso de solidificación. Es oportuno destacar que la distribución que presenta habría tenido ciertos efectos sobre las propiedades mecánicas de la pieza, debido a su dureza y relativa fragilidad (véase Howard 1962:82). Con relación a lo anterior, el ensayo de dureza arrojó un valor de 98 ± 6 HV.

Artillería

Los cañones

A lo largo del tiempo, como ya comentamos, el *Triunfante* estuvo expuesto a diferentes instancias de recuperación de materiales. La primera de estas ocurrió al día siguiente del naufragio, a cargo de los españoles, que rescataron una parte de la carga y artillería. Durante el siglo xx, pobladores locales y buzos de la Real Armada española también cumplieron su parte. Las piezas de artillería fueron objeto de búsqueda preferencial; en consecuencia, el navío fue despojado de la mayoría de sus cañones.

En 2009, en el área de popa y debajo del forro exterior de la banda de estribor, se halló un cañón de 330 cm de largo (medido desde el cascabel hasta el plano de la boca). La superficie de la pieza se encuentra cubierta por concreciones (productos de corrosión del hierro, organismos incrustantes, etc.), que actuaron como medio de ligadura al maderamen del casco (Fig. A.7.34). Esta condición, junto con su ubicación debajo de la estructura, probablemente contribuyeron para que no sufriera el expolio al que estuvieron sometidos otros objetos en el pasado más reciente. Debido a su situación y a la problemática que supondría su conservación una vez extraído del agua, el cañón fue dejado en el mismo lugar adonde se

encontró (Pujol i Hamelink y Vivar 2009b:11). El material de la pieza no fue caracterizado, mas no descartamos la posibilidad de realizar un análisis a futuro.⁶

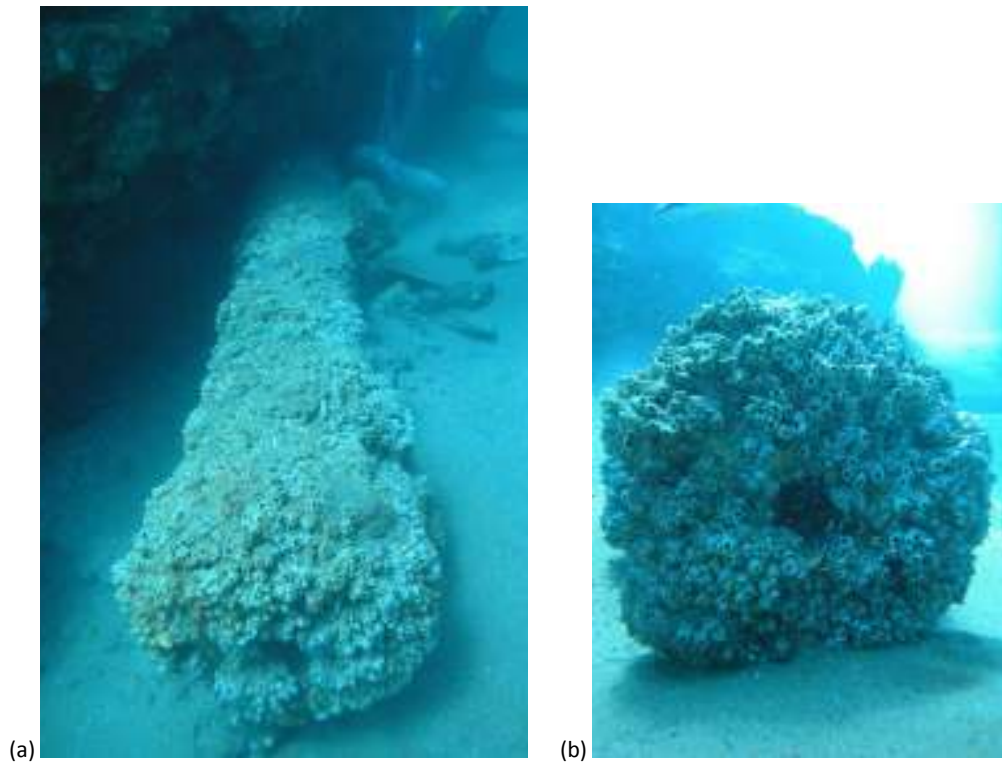


FIGURA A.7.34 – CAÑÓN DE HIERRO, LOCALIZADO *IN SITU*.

Imágenes del cañón hallado debajo de la banda de estribor del barco: (a) vista de frente (parte del primer cuerpo y la culata se encuentran bajo la estructura del barco); (b) detalle de la boca, cuyo plano y molduras se encuentran colonizados por organismos marinos.

Fotos: CASC-MAC 2009. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

La única muestra relativa a los cañones del navío que fue extraída del sitio en el año 2009 corresponde a un cascabel (Fig. A.7.35). La pieza se encuentra partida a la altura del cuello y, pese a su estado fragmentado, aún conserva la silueta original.

⁶ Los estudios de caracterización metalúrgica fueron realizados sobre los materiales recuperados del sitio durante las campañas de 2008, 2009 y 2010. La propuesta de llevar a cabo los análisis cuyos resultados aquí presentamos fue hecha a los investigadores luego de concluidas las actividades arqueológicas en el sitio.

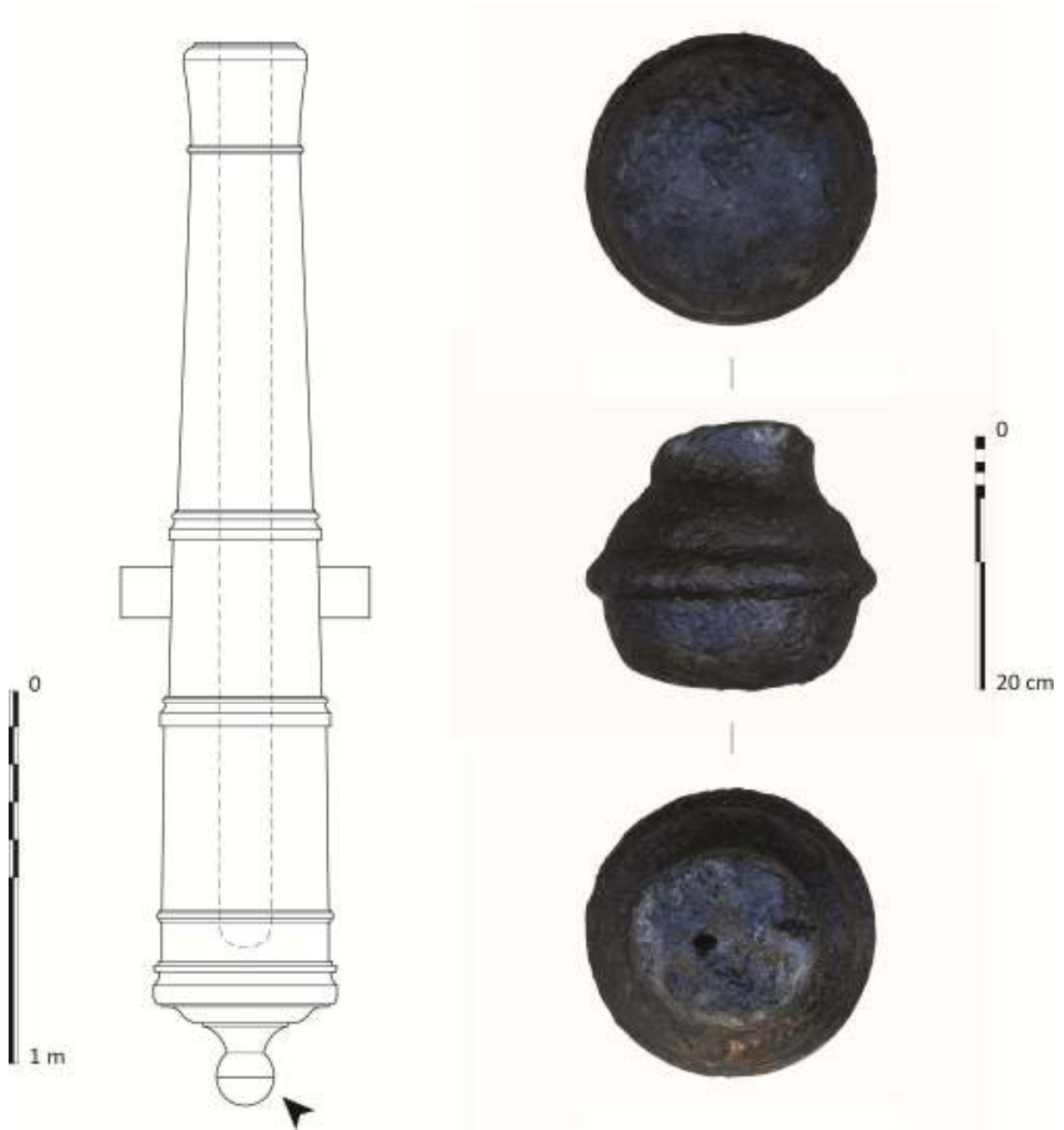


FIGURA A.7.35 – CASCABEL DE UNO DE LOS CAÑONES DE HIERRO.

Vistas del cascabel recuperado del *Triunfante*. A la izquierda reproducimos el plano de un cañón español, según el Reglamento de 1765 (Rovira 1773: Lámina 2, Fig. 29), en el que se indica a qué parte corresponde la pieza hallada en el sitio.

Gráfico y fotos: N. Ciarlo 2011.

Dada la proporcionalidad que, según establecían las reglamentaciones navales de la época, guardaban entre sí las diferentes partes de un cañón de hierro con relación a su calibre (o al tamaño de la bala), es posible estimar el tamaño de la pieza de artillería correspondiente a partir de las dimensiones del cascabel (véase el capítulo 8). Utilicemos por caso el Real Reglamento español del año 1765. El diámetro de la bala se dividía en 16 partes iguales, que en el caso del cascabel se repartían de la siguiente manera: el diámetro menor debía tener 16 partes, mientras que el mayor, 20. En el caso del ejemplar del *Triunfante*, las respectivas medidas son ca. 17 x 21 cm. Con la cautela que este tipo de aproximación requiere, los valores anteriores sugieren —por aproximación al diámetro de la bala de cada uno de los calibres reglamentados— que se trata de un cañón de 32 libras (véase Rovira 1773:81,83).

En la actualidad, la muestra del cascabel se encuentra en proceso de análisis por medio de OM.

Municiones

En el sitio también se hallaron numerosas balas rasas y de metralla. En gran parte, se presentan bajo la forma de extensas concreciones que cubren varios metros cuadrados de las tablas del forro interior del navío. Algunas de las balas, que no estaban concrecionadas, fueron extraídas. Aquí analizamos dos ejemplares esféricos identificados como balas de metralla.

La bala No.1 tiene un diámetro de 43 mm y un peso de 227 g. La No.2, mide 34,1 mm y pesa 52 g (Fig. A.7.36). La primera se encuentra en buen estado de preservación, afectada por un proceso corrosivo superficial. La segunda, tal como lo evidencia su peso, se encuentra muy deteriorada, aunque mantiene su forma esférica. Ambas balas fueron seccionadas por la mitad, con el fin de analizar la microestructura a lo largo de toda su extensión.



FIGURA A.7.36 – BALAS DE METRALLA.

Estado de las balas de metralla No.1 (a) y No.2 (b), antes de ser seccionadas para análisis metalográfico.

Fotos: N. Ciarlo 2013. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

En la bala No.1, las características de la cementita y el grafito corresponden a una fundición atruchada, con una matriz martensítica (Fig. A.7.37). La martensita detectada indica un brusco enfriamiento de la austenita, debido bien al proceso de colada, bien a un tratamiento posterior. La primera alternativa se considera poco probable, dado que la presencia de grafito suele estar asociada a enfriamientos lentos de colada. Asimismo, por medio de SEM y EDS fue posible revelar la existencia de partículas poligonales de sulfuro de manganeso (MnS) (Fig. A.7.38).

La bala No.2 tiene una microestructura semejante a la anterior. En las zonas menos corroídas del interior de la muestra aún se puede observar la cementita remanente, que ocupa un alto porcentaje de la estructura. El grafito no se encuentra en todo el volumen de la pieza, a consecuencia del deterioro sufrido por esta última. A diferencia del caso anterior, en este ejemplar no se detectaron inclusiones de MnS.⁷

⁷ La probeta no pudo ser estudiada mediante SEM, dado que la porosidad que presenta impidió que el equipo alcanzara las condiciones de vacío aptas para operar.

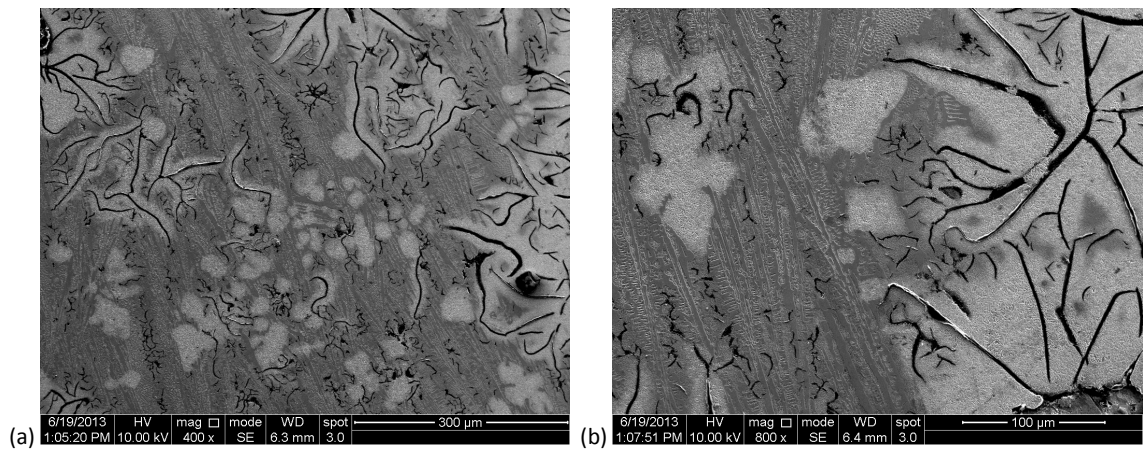


FIGURA A.7.37 – MICROESTRUCTURA DE LA BALA NO.1.

Imágenes SEM de la muestra, en la que se aprecia a distintos aumentos la microestructura de cementita y grafito característica de la fundición atruchada.

Imágenes: M. Pianetti 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

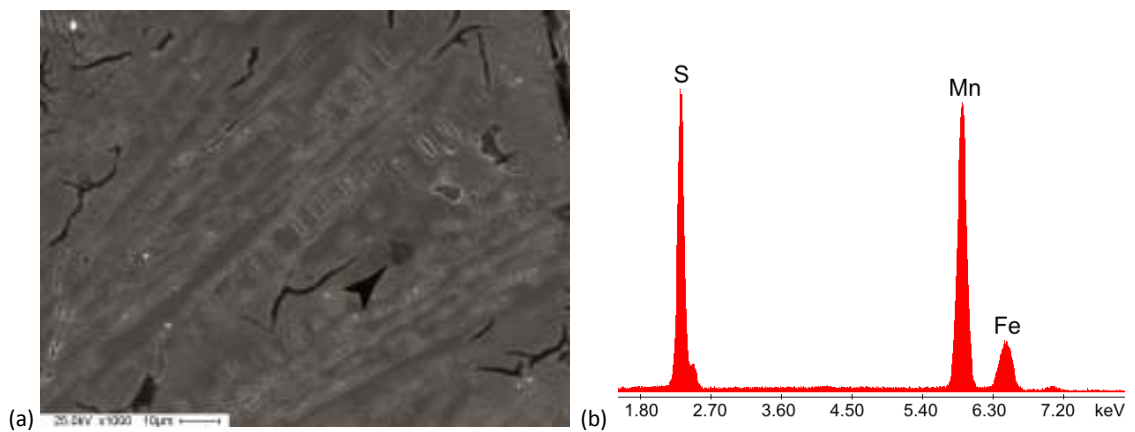


FIGURA A.7.38 – INCLUSIONES DE SULFURO DE MANGANESO.

Imagen SEM y espectro EDS de una de las inclusiones de MnS presentes en la bala No.1 (la flecha muestra la inclusión poligonal).

Imagen: M. Pianetti 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

Miscelánea

Caño de plomo

Entre los restos del navío se halló un caño de plomo, parecido a un imbornal, con un extremo abierto y el otro tapado por el dobléz del propio caño. En sentido longitudinal puede apreciarse la zona de unión de la plancha que forma el cilindro, que en la actualidad se encuentra abierta. Es posible que originalmente haya tenido allí algún tipo de material de soldadura. La pieza presenta la particularidad de estar cubierta en gran parte de su circunferencia y toda su longitud por una chapa de cobre (tipo camisa). Su espesor (ca. 1,5 mm) es similar al de las planchas de aforro, aunque no posee orificios de sujeción.

Se extrajo una muestra del extremo de la chapa de cobre, para análisis metalográfico. El examen mediante OM reveló una estructura monofásica de granos de distintos tamaños, con el color típico del cobre, y presencia de maclas de recocido. Además se registraron numerosas inclusiones de óxido de cobre (Cu_2O). En una sección del espesor de la chapa, estas aparecen alongadas y orientadas en un sentido preferencial (Fig. A.7.39), mientras que en la vista perpendicular al plano muchas están desordenadas (Fig. A.7.40).

La alineación de las inclusiones sugiere que la chapa fue obtenida por laminado en caliente o en frío, en el último caso con posterior recocido. Los granos de tamaño irregular, la disposición de las inclusiones —que en algunas zonas se encuentran desordenadas— y las maclas de recocido, son indicios de un proceso de deformación manual, por martillado, con recristalización. Es probable que este proceso, relacionado con la instancia última de conformación de la pieza, haya sido realizado en caliente, dada la dificultad técnica asociada al endurecimiento que sufre el cobre cuando es deformado en frío.

El análisis mediante EDS indicó que la materia prima utilizada para la elaboración de la plancha fue cobre sin alear. Estos resultados fueron confirmados por medio de OES y AAS. Al respecto, entre las impurezas registradas se destaca el plomo, por el tenor que este elemento presenta (0,44 %) (véase la Tabla A.7.1). Los valores de dureza son consistentes con los de un objeto de cobre blando, resultado del proceso de regeneración de los granos.

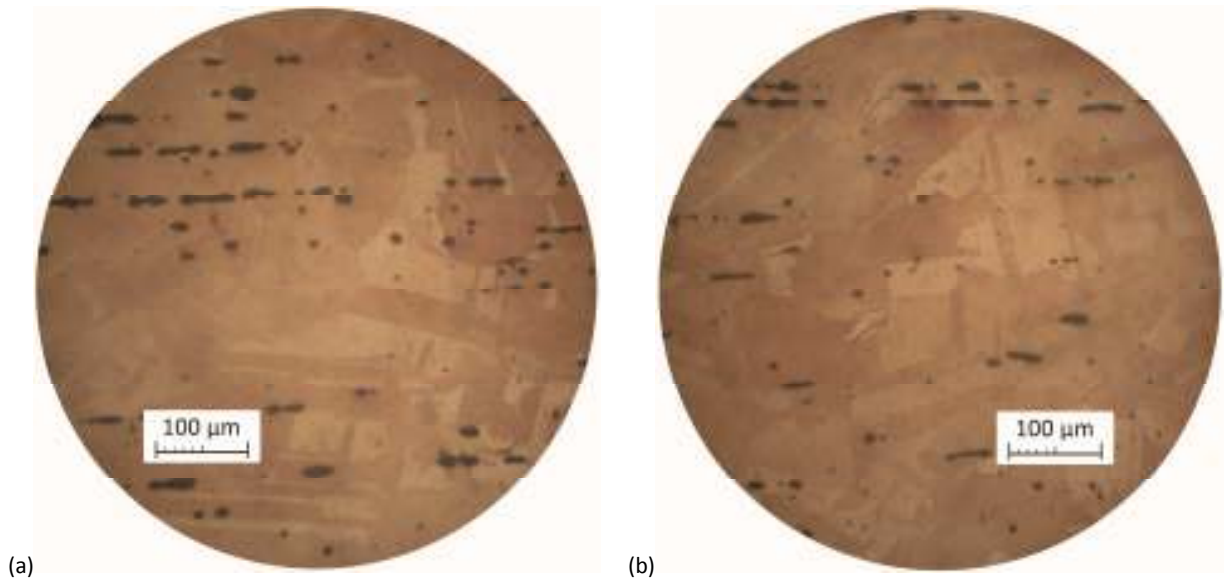


FIGURA A.7.39 – MICROESTRUCTURA DE LA CHAPA DE COBRE (PERFIL).

Fotomicrografías de la microestructura monofásica de granos de diferente tamaño y maclas de recocido, en la que se aprecian las inclusiones alineadas (a y b). Reactivo de ataque: HCl, FeCl₃, H₂O.

Fotos: N. Ciarlo 2012.

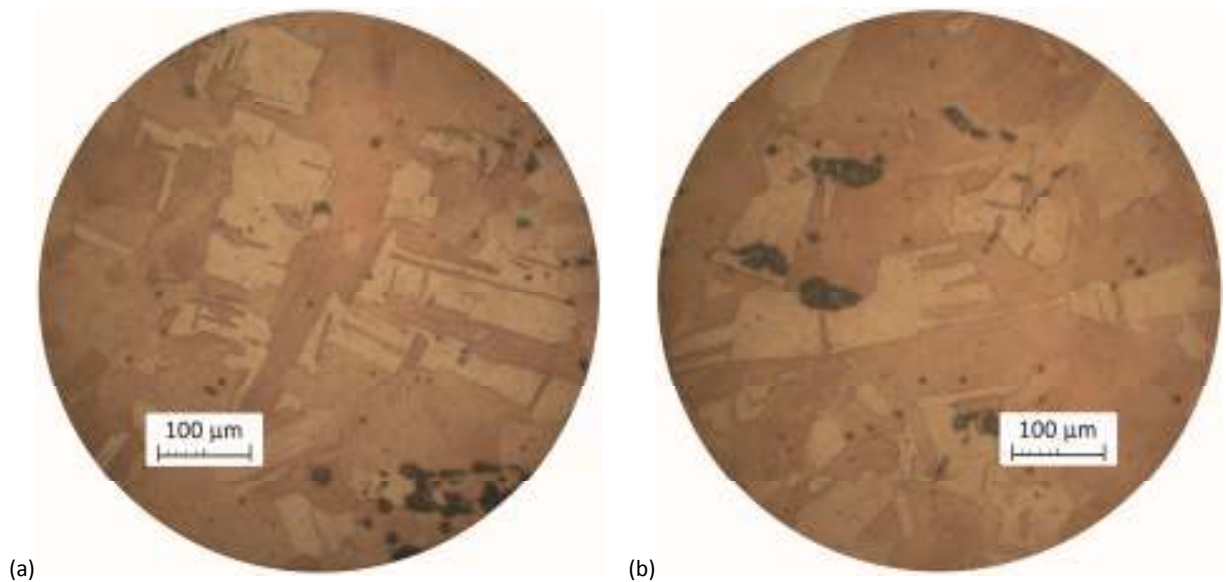


FIGURA A.7.40 – MICROESTRUCTURA DE LA CHAPA DE COBRE (PLANTA).

Fotomicrografías de la microestructura, donde las inclusiones se encuentran desordenadas (a y b). Reactivo de ataque: HCl, FeCl₃, H₂O.

Fotos: N. Ciarlo 2012.

Ancla pequeña

En el área de popa del navío, entre los restos ubicados a estribor, se halló un ancla pequeña (Fig. A.7.41). La pieza, que descansa sobre el maderamen de la bodega (adherida a las tablas del forro interno), se encuentra concrecionada en gran parte de su extensión. Las dimensiones sugieren que se trata de un ancla auxiliar o de uno de los botes del barco (Pujol i Hamelink y Vivar 2009b:12). El ancla fue dejada en su sitio y no se extrajeron muestras para análisis.



FIGURA A.7.41 – ANCLA DE HIERRO, LOCALIZADA *IN SITU*.

Ancla pequeña hallada en el área de popa del navío, emplazada sobre las tablas de madera del forro interno.

Foto: CASC-MAC 2009. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Tablas

TABLA A.7.1 – COMPOSICIÓN QUÍMICA GLOBAL DE LAS MUESTRAS DE HIERRO, COBRE Y ALEACIÓN DE COBRE.

Artefacto	Análisis	Elementos (% en peso)									
		<i>Fe</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>Cu</i>	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>Ni</i>
Hierro											
Perno	OES, IR	99,4	0,457	0,015	0,006	0,013	0,015	0,060	0,006	0,007	0,006
Zuncho de vigota	AAS, IR	Resto	0,040	0,052	0,003	0,138	0,179	–	0,005	<0,001	–
Gancho de motón	OES, IR	99,8	<0,010	0,059	0,012	0,008	<0,005	0,070	0,002	<0,001	<0,003
Cobre											
Clavo de tabla de forro	OES, AAS	99,2	0,006	0,021	0,052	0,101	0,256	0,204	0,003	0,065	0,055
Camisa de posible imbornal	OES, AAS	99,0	0,008	<0,003	0,440	0,005	0,108	0,310	0,003	0,033	0,054
Aleación de cobre											
Tachuela de forro de cobre (a1)	AAS	Resto	10,500	4,200	7,920	0,030	0,185	0,014	0,332	–	–
Clavo de forro de sacrificio (b1)	AAS	Resto	6,800	0,240	0,150	0,060	0,180	0,090	0,030	–	–
Clavo de forro de sacrificio (b4)	AAS	Resto	5,620	0,015	0,341	0,012	0,049	0,230	0,080	–	–
Roldana de cuadernal	OES, AAS	79,9	9,330	3,250	5,900	0,037	>0,480	0,376	0,245	0,155	0,080

Referencias:

Fe (hierro); C (carbono); P (fósforo); S (azufre); Mn (manganeso); Si (silicio); Cu (cobre); Al (aluminio); Ca (calcio); Ni (níquel); Sn (estaño); Zn (zinc); Pb (plomo); Bi (bismuto); As (arsénico); Sb (antimonio); Ag (plata).

<, > (el valor detectado se encuentra, respectivamente, por debajo o por encima del límite de detección del equipo).

– (no se detectó; el valor es despreciable).

TABLA A.7.2 – VALORES DE DUREZA VICKERS.

Artefacto	Metal	Sector ensayado	Microdureza (HV)¹
Perno	Hierro	Cabeza	109 ± 11
		Astil	190 ± 24
Clavo de tabla de forro	Cobre	Cabeza	121 ± 10
		Astil	57 ± 15
		Punta	69 ± 3
Tachuela de forro de cobre (a1)	Aleación de cobre	Cabeza	96 ± 5
		Astil	96 ± 1
Clavo de forro de sacrificio (b1)	Aleación de cobre	Cabeza	89 ± 8
		Astil	90 ± 4
		Punta	221 ± 17
Clavo de forro de sacrificio (b3)	Aleación de cobre	Cabeza	72 ± 4
		Astil	88 ± 6
Clavo de forro de sacrificio (b4)	Aleación de cobre	Cabeza	77 ± 1
		Astil	80 ± 8
Zuncho de vigota	Hierro	Perímetro	97 ± 10
Gancho de motón	Hierro	Perímetro	97 ± 6
Roldana de cuadernal de tres ojos	Aleación de cobre	Borde de la rueda	98 ± 6
Camisa de tuvo de plomo (posible imbornal)	Cobre	Extremo	83 ± 4

Referencias:

1. En todos los casos se realizó un mínimo de 5 mediciones. La carga empleada para las mediciones de dureza fue de 1 kg, salvo en el caso de la punta del clavo b1, en el que utilizamos una carga de 3 kg.

Anexo 8

ANÁLISIS DE MUESTRAS DEL *FOUGUEUX*

Presentación

En este anexo exponemos los datos obtenidos del análisis de caracterización de un conjunto de muestras recuperadas del sitio Camposoto, identificado como los restos del navío francés de 74 cañones *Fougueux* (1785-1805), que fueron seleccionadas conforme a la propuesta del presente estudio. El barco en cuestión formó parte de la Escuadra Combinada franco-española que combatió en la Batalla de Trafalgar, el 21 de octubre de 1805. Ya dañado y presa de un barco de guerra británico, se fue a pique al día siguiente, a causa de los embates de un fuerte temporal, en los bajos de Sancti-Petri (frente a las costas de Camposoto, Andalucía, España). La investigación de los restos del naufragio fue realizada por el Centro de Arqueología Subacuática (CAS) del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH).

Las piezas aquí analizadas provienen de un sector de excavación, aunque se hallaron dispersas entre los restos estructurales del barco. En este caso, los materiales corresponden a las categorías de elementos de sujeción (pernos y clavos) y revestimiento de forro (chapas y tachuelas). La evidencia relacionada con el revestimiento de forro, fue analizada en otra oportunidad por Bethencourt (2008/9, 2010). Este apartado es complementario al siguiente, destinado a los objetos del *Bucentaure*, otro de los barcos que participó en la contienda (véase el anexo 9). Pese a que forman parte de un corpus de evidencia de un contexto histórico similar, y fueron investigados de modo integral por el equipo del CAS-IAPH, aquí los presentamos por separado, a fin de brindar mayor claridad expositiva. Las tareas de relevamiento de las piezas y extracción de muestras

fueron realizadas por quien suscribe, en el laboratorio del CAS-IAPH, durante noviembre de 2011 y febrero de 2013.

Para este sitio, los principales medios de caracterización utilizados fueron los que siguen: examen metalográfico mediante microscopía óptica (OM) y microscopía electrónica de barrido (SEM); determinación química por medio de espectroscopia de rayos X dispersiva en energía (EDS), espectrometría de emisión óptica (OES) y espectrometría de absorción atómica (AAS); y ensayo de dureza Vickers (HV).

Los datos obtenidos del análisis de los elementos de sujeción fueron previamente presentados, a modo comparativo, junto con los del *Bucentaure* (Ciarlo et al. 2014; De Rosa et al. 2015b). Aquí reproducimos y ampliamos esta información, con el gentil permiso de los demás autores.

Elementos de sujeción

En este sitio se registró un alto porcentaje de clavazón de cobre o aleación de cobre, y escasas piezas de hierro o madera (Fig. A.8.1 y Fig. A.8.2). Respecto de los elementos de sujeción de hierro, pernos de este material se emplearon para unir entre sí, de modo transversal, las cuernas dobles (véase Rodríguez Mariscal 2010:98). Los clavos y pernos utilizados para la mayoría de las demás partes estructurales son de cobre o aleación de cobre (véase más abajo).

En la figura A.8.3 podemos apreciar algunos de los pernos, clavos y tachuelas de revestimiento de forro recuperados del sitio. En lo que resta del anexo nos ocuparemos de cada uno de estos en particular.



FIGURA A.8.1 – CLAVOS DEL *FOUGUEUX*.

Elementos de sujeción de cobre del *Fougueux*, localizados *in situ*. Algunos de estos ejemplares, dispersos entre los restos estructurales, fueron extraídos. Largo promedio de los clavos: 265 mm.

Fotos: CAS-IAPH 2007. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.



FIGURA A.8.2 – PERNOS DEL *FOUGUEUX*.

Pernos pasantes, con ajuste de la punta sobre arandela, expuestos sobre los restos estructurales de madera (bulárcama). Diámetro aproximado: 30 mm.

Foto: CAS-IAPH 2007. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.



FIGURA A.8.3 – PERNOS Y CLAVOS RECUPERADOS DEL SITIO.

Lote de pernos, clavos y tachuelas asociados a los restos estructurales del *Fougueux* (CAMP/CA 07 – 85).

Foto: CAS-IAPH 2007. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Clavos

En términos generales, los clavos de cobre o aleación de cobre tienen un astil de sección rectangular, con dos lados paralelos y dos convergentes hacia la punta; una cabeza cuadrangular y plana; y una punta con forma de cuña. Como vimos en el capítulo 6, los clavos de estas características solían ser utilizados para unir diferentes partes estructurales (e.g. las tablas del forro externo e interno a las cuadernas, y la tablazón de cubierta a los baos). Las muestras analizadas están ilustradas en la figura A.8.4.

Las dimensiones de los clavos de estas características, que fueron extraídos del naufragio, se detallan en la tabla A.8.1. En promedio, las principales medidas del conjunto son las siguientes (para la estimación fueron considerados los ejemplares que se encontraban en mejor estado de preservación):

- largo total: 267 mm;
- cabeza: 22 mm (lado 1), 22 mm (lado 2) y 12 mm (alto);
- astil: 14 x 14 mm (sección a 3 cm de la cabeza); 12 x 10 mm (sección en el sector medio); y 11 x 5 mm (sección a 3 cm de la punta).

Los ejemplares recuperados se hallaban en el sitio de manera aislada, en un sector que coincidiría con la proyección de la quilla (véase la Fig. A.8.3). Seleccionamos tres de estos elementos para su análisis (CAMP/CA 07 – 85/3, 07 – 85/10 y 06 – 16/3). El clavo CAMP/CA 07 – 85/3 tiene una longitud total de 295 mm; el astil posee una sección de ca. 17 x 18 mm (próxima a la cabeza), ca. 14 x 13 mm (sector medio) y ca. 13 x 7,5 (próxima a la punta) y la cabeza mide 28,5 x 29,5 x 10 mm. El clavo CAMP/CA 07 – 85/10 posee una longitud de 280 mm; la sección del astil es ca. 14 x 13 mm (cerca de la cabeza), ca. 12,5 x 10,5 mm (sector medio) y ca. 14 x 7 (cerca de la punta), mientras que las dimensiones de la cabeza son 22,5 x 24 x 13 mm. El tercero de los ejemplares analizados se halló fragmentado a la altura del astil, que presenta un deterioro avanzado cerca del extremo. En cuanto a sus dimensiones, la cabeza mide 24,5 x 22 x 16,5 mm y el astil, cerca de esta última, tiene una sección de 18 x 18,5 mm (véase la Fig. A.8.4-a,b,c).

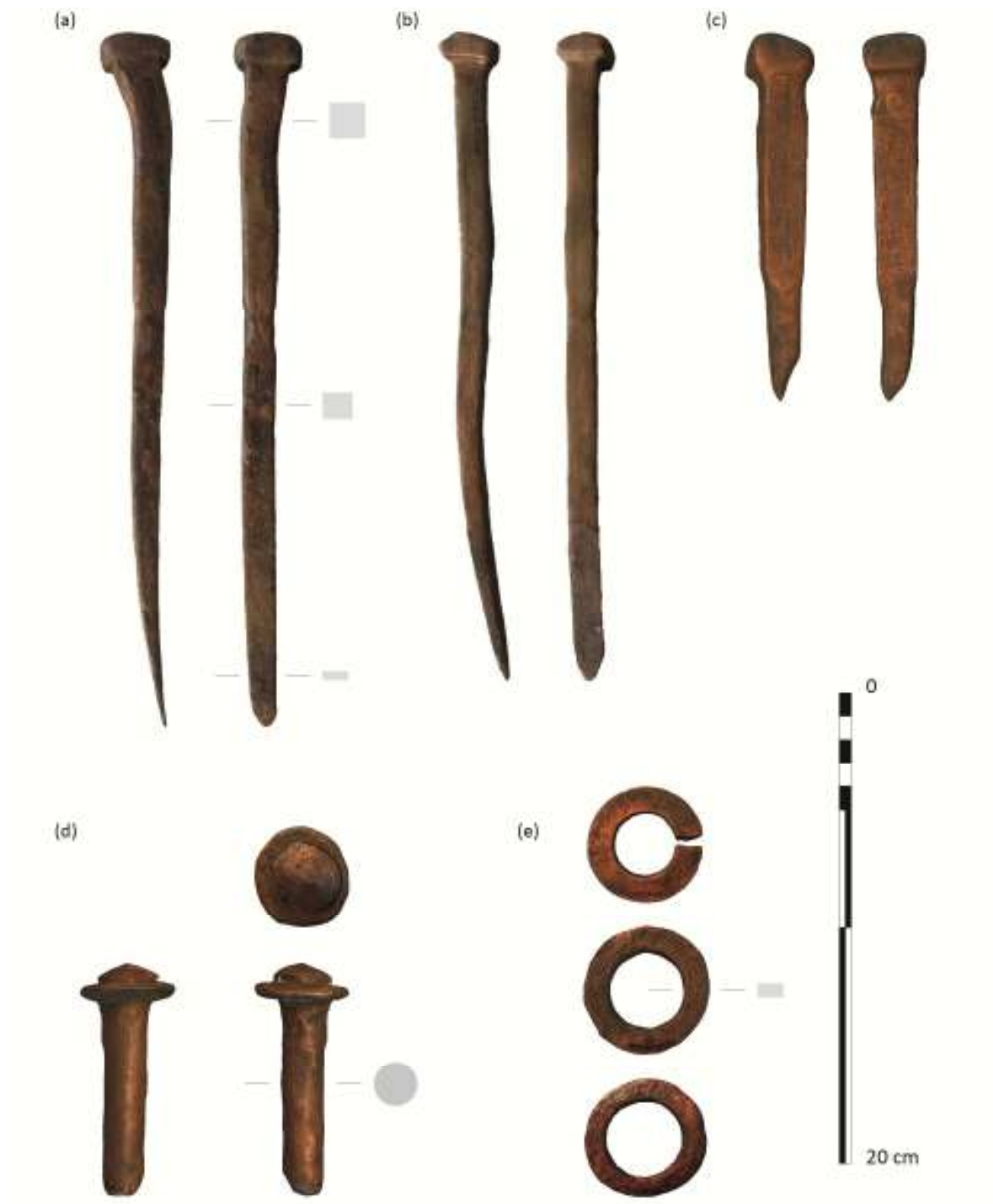


FIGURA A.8.4 – ELEMENTOS DE SUJECIÓN.

Conjunto de elementos de sujeción estructurales del *Fougueux*: (a-c) clavos del tipo empleado para las tablas del forro (CAMP/CA 07 – 85/3; 07 – 85/10 y 06 – 16/3); (d) extremo distal de uno de los pernos con arandela (CAMP/CA 06 – 16/1) y (e) arandelas circulares, de los pernos pasantes (de arriba abajo, CAMP/CA 06 – 21; 06 – 31 y 06 – 10). Las piezas ilustradas en a, b, c, d y e (arriba) fueron analizadas.

Fotos: N. Ciarlo 2013. Reproducción autorizada, cortesía del CAS-IAPH.

En términos generales, el análisis por medio de OM de los primeros dos clavos reveló una microestructura monofásica, con el color característico del cobre, de granos de distintos tamaños, con maclas de recocido e inclusiones de segundas fases, que en el astil aparecen alargadas en sentido longitudinal. Esta evidencia sugiere que las piezas fueron manufacturadas manualmente, por medio de martillado en caliente. La tercera pieza sólo fue analizada por medio de EDS (véase más abajo).

En el caso de la pieza CAMP/CA 07 – 85/3, los granos exhiben algunas discrepancias, según el sector analizado, que se asocian a la deformación diferencial que sufrió cada una de las zonas durante el proceso. En la zona de la cabeza, los granos presentan variación en la forma (Fig. A.8.5); en cambio, en el astil se aprecia una tendencia hacia una morfología equiaxial (Fig. A.8.6).

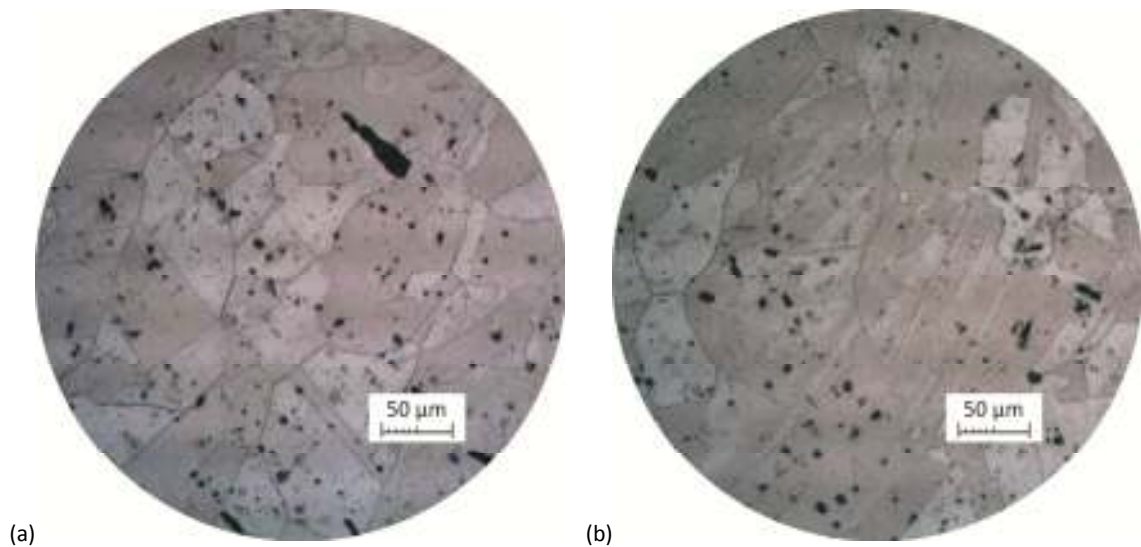


FIGURA A.8.5 – MICROESTRUCTURA DEL CLAVO CAMP/CA 07 – 85/3 (CABEZA).

Fotomicrografías del clavo de cobre, en las que se observa una estructura monofásica de granos de cobre de diversa forma y tamaño, con presencia de maclas e inclusiones, estas últimas sin una orientación preferencial. Reactivo de ataque: NH_4OH , H_2O , H_2O_2 .

Fotos: P. Marino 2012.

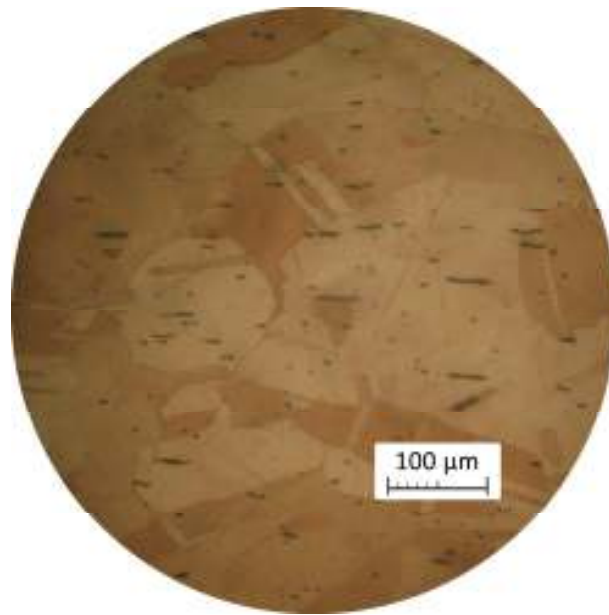


FIGURA A.8.6 – MICROESTRUCTURA DEL CLAVO CAMP/CA 07 – 85/3 (PUNTA).

Fotomicrografía del clavo de cobre, adonde los granos de cobre exhiben una tendencia hacia la equiaxialidad, con presencia de maclas e inclusiones alargadas en el sentido longitudinal del astil. Reactivo de ataque: NH_4OH , H_2O , H_2O_2 .

Foto: P. Marino 2012.

En función de lo anterior, es posible afirmar que el esfuerzo para la confección de la cabeza fue aplicado en múltiples direcciones, mientras que en el astil este se habría efectuado en el sentido perpendicular al eje. Lo anterior también está evidenciado por la forma de las inclusiones mencionadas. Estas se encuentran desordenadas en la cabeza, mientras que en el astil presentan una mayor alineación a lo largo de la pieza (Fig. A.8.7; véanse también las figuras anteriores).

Los valores de dureza, considerados en los distintos sectores de la pieza, son: 99 ± 2 HV (cabeza); 92 ± 5 HV (astil) y 107 ± 9 HV (punta). Estos datos son consistentes con el martillado diferencial que tuvo cada una de las partes, que dio como resultado distintos tamaños de grano.

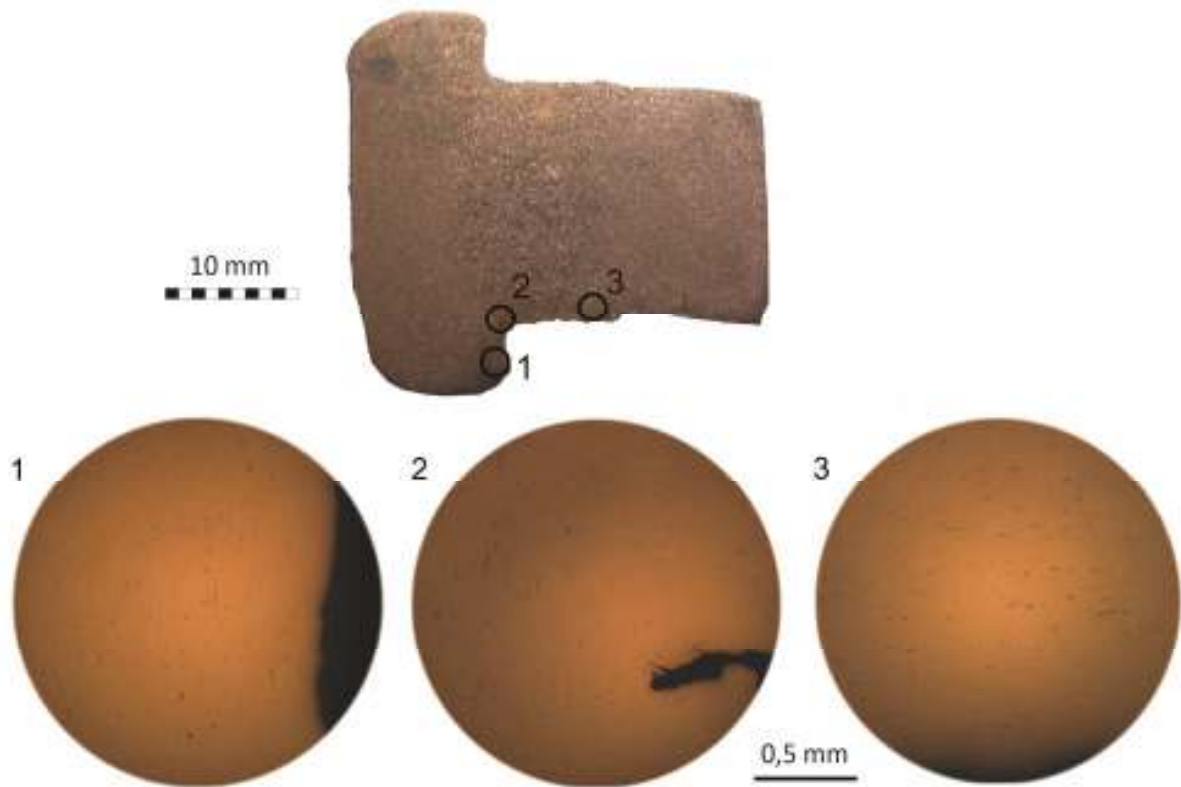


FIGURA A.8.7 – ALINEACIÓN DE LAS INCLUSIONES (CABEZA-ASTIL).

Micrografías de la zona de transición cabeza-astil del clavo CAMP/CA 07 – 85/3, en las que se aprecia la orientación preferencial de las inclusiones, según el conformado.

Fotos: P. Marino 2012.

Las características relevadas en el clavo CAMP/CA 07 – 85/10 indican, a grandes rasgos, un proceso de conformado similar al anterior. En la zona de la cabeza se observan granos recocidos de forma y tamaño irregulares, sin evidencia de deformación plástica ni orientación preferencial (Fig. A.8.8). Allí, las inclusiones no presentan una ordenación definida pero se van orientando y convergen en una alineación notoria a medida que se avanza hacia la transición de la cabeza-astil (Fig. A.8.9). En este caso, a diferencia del otro clavo, la forma y el tamaño de los granos sugieren que el calentamiento y los esfuerzos para otorgarle forma a la cabeza fueron más uniformes.

Cabe notar que en el sector terminal del astil, adyacente a la punta del clavo, se aprecian granos de diferente tamaño y con cierta deformación. En líneas generales, lo primero se puede asociar a una instancia de conformado con recristalización posterior, que afectó de manera desigual al material. Mientras que lo segundo estaría relacionado con una instancia ulterior (final), de martillado en frío.

La variación del tamaño de grano se extiende del centro a la periferia y desde la punta hacia el astil. En la periferia se observan granos muy pequeños, mientras que hacia el interior del clavo estos son más grandes (en un orden de diez). La diferencia más notoria se aprecia en el sector terminal del astil, adyacente a la punta (Fig. A.8.10), mientras que en esta última el tamaño de los granos es más regular en toda la sección. Lo anterior sugiere que, durante la penúltima operación de conformado, la pieza sufrió una mayor deformación en la periferia que en el interior. Al ser sometidos a temperatura, los granos que habían sido deformados recristalizaron; los del interior, en cambio, no habrían alcanzado la deformación crítica y sólo experimentaron crecimiento.

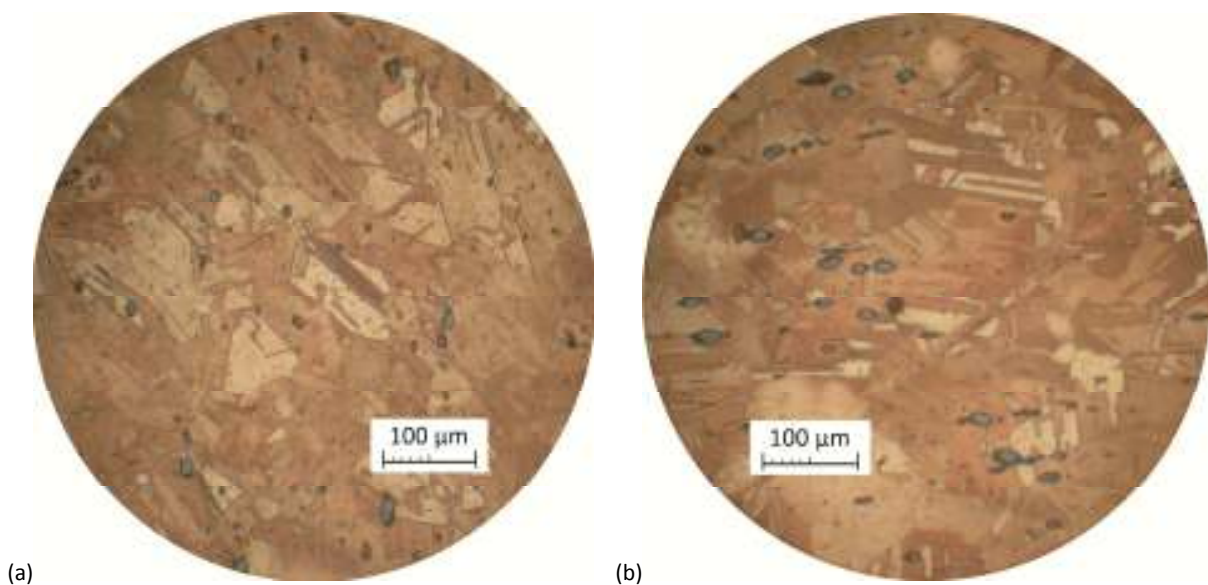


FIGURA A.8.8 – MICROESTRUCTURA DEL CLAVO CAMP/CA 07 – 85/10.

Fotomicrografías de dos sectores del clavo, adonde se observa una estructura de granos de cobre de diversa forma y tamaño, con presencia de maclas e inclusiones: (a) carentes de ordenamiento (cabeza); (b) alineadas en el sentido longitudinal de la pieza (astil, cerca de la cabeza). Reactivo de ataque: NH_4OH , H_2O , H_2O_2 .

Fotos: P. Marino 2012 (a) y N. Ciarlo 2012 (b).

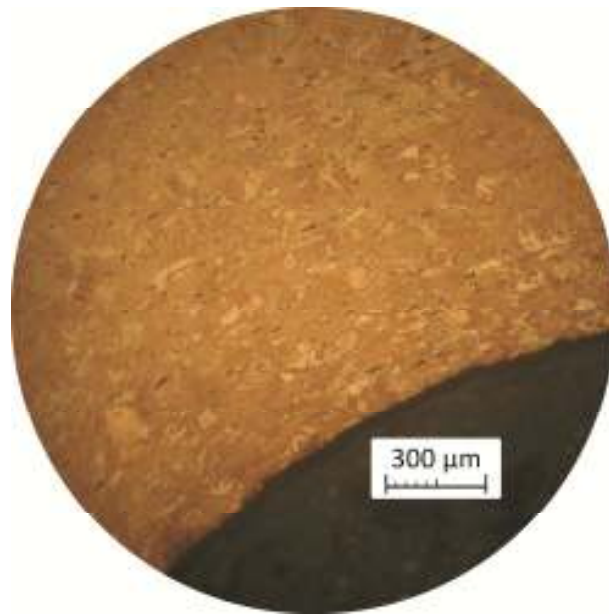


FIGURA A.8.9 – ALINEACIÓN DE LAS INCLUSIONES (CABEZA-ASTIL).

Fotomicrografía del clavo CAMP/CA 07 – 85/10 (cabeza-astil), adonde las inclusiones aparecen orientadas en el sentido longitudinal.

Foto: N. Ciarlo 2012.



FIGURA A.8.10 – VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO (CENTRO-PERIFERIA).

Microestructura de granos de cobre de diferente tamaño (mosaico de una franja transversal al sentido longitudinal del astil, en un sector adyacente a la punta) del clavo CAMP/CA 07 – 85/10. Reactivo de ataque: NH_4OH , H_2O , H_2O_2 .

Foto (mosaico): P. Marino 2012.

Por otro lado, la deformación que presentan los granos se considera producto del martillado en frío durante la instancia final de conformado. Este último paso habría estado orientado a conferirle mayor dureza a la pieza.

Las mediciones de dureza en los distintos sectores de la pieza dieron los siguientes resultados: 87 ± 4 HV (cabeza); 79 ± 4 HV (astil); y 119 ± 6 HV (punta). Al igual que en el caso anterior, las discrepancias entre los valores registrados se asocian a las diferencias mencionadas con respecto al proceso de conformado de las tres zonas (véase la Tabla A.8.2). En particular, la elevada dureza que presenta la punta respecto del resto de la pieza, se atribuye a la instancia final de trabajado en frío.

Un primer análisis de la composición química de los tres clavos, realizado mediante EDS, reveló que la materia prima utilizada para la fabricación de las piezas fue cobre sin alear (Fig. A.8.11).

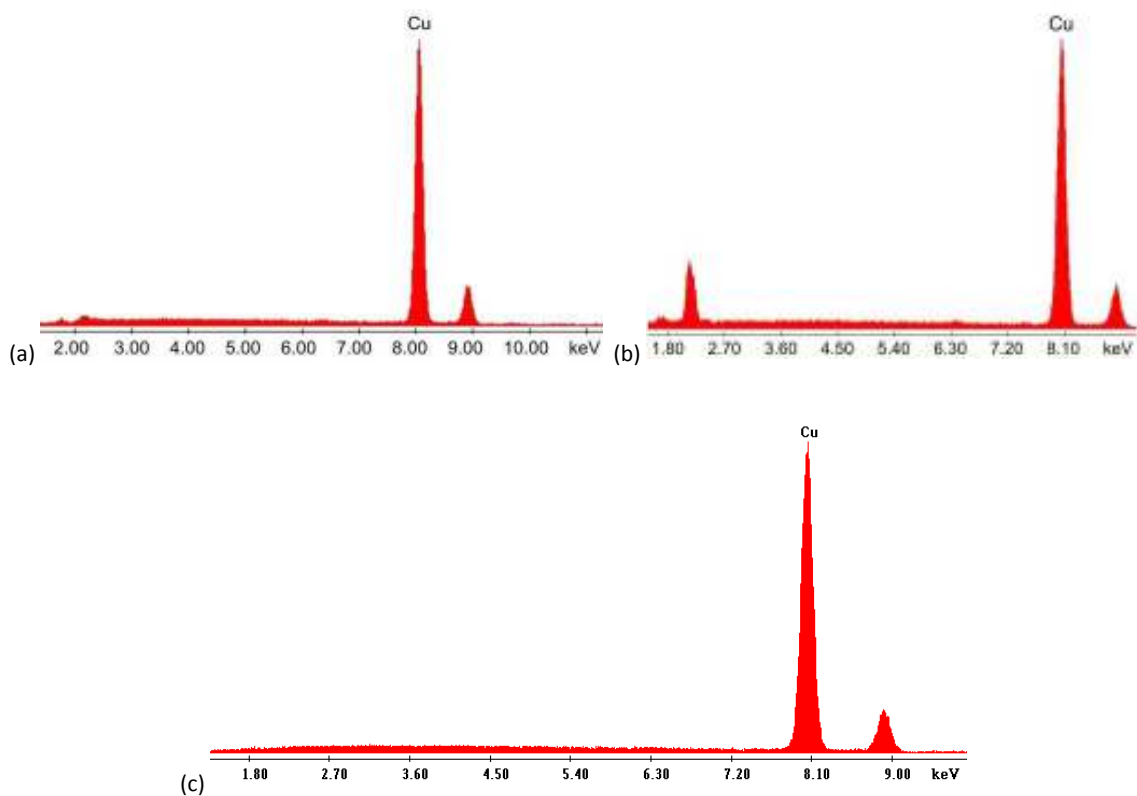


FIGURA A.8.11 – COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS CLAVOS.

Espectros EDS de la composición global de la matriz de los clavos: (a) clavo CAMP/CA 07 – 85/3 (punta); (b) clavo CAMP/CA 07 – 85/10 (punta); (c) clavo CAMP/CA 06 – 16/3 (cabeza-astil). El pico de la izquierda en la imagen b corresponde al oro del metalizado.

Imágenes: G. Maxia 2012 (a y b) y 2013 (c). Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

Los análisis mediante OES y AAS arrojaron un resultado semejante para el caso del componente mayoritario de los dos primeros clavos (CAMP/CA 07 – 85/3 y 07 – 85/10). Estos presentan una serie de elementos minoritarios en bajas concentraciones (<1 %), que estarían asociados a impurezas procedentes del mineral de origen o introducidas durante alguna etapa del proceso metalúrgico de obtención del cobre (Tabla A.8.3). El contenido de plomo registrado, veremos, está distribuido bajo la forma de las inclusiones antes mencionadas.

Con relación a esto último, la observación mediante SEM permitió obtener información complementaria acerca de las impurezas presentes en la materia prima. A partir de una imagen del clavo CAMP/CA 07 – 85/10 originada mediante electrones retrodispersados, se registraron, por discrepancias de contraste, diferencias en la composición química de las inclusiones (Fig. A.8.12). Aquellas que fueron identificadas (por su morfología) como Cu_2O , se distinguieron de otras menos numerosas, que en función de su brillo corresponden a compuestos con elementos más pesados, como el plomo. En muchos casos, este elemento se encuentra localizado en los extremos de las inclusiones.

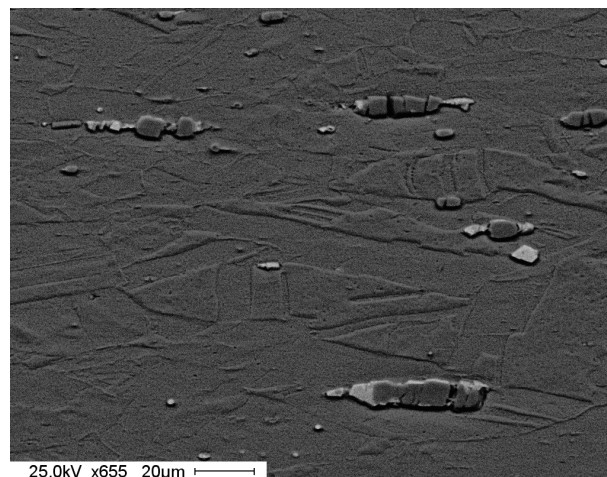


FIGURA A.8.12 – IMAGEN SEM DE LAS INCLUSIONES DEL CLAVO CAMP/CA 07 – 85/10.

Imagen SEM del astil del clavo (cerca de la punta), obtenida mediante electrones retrodispersados, en la que se aprecian las inclusiones de diferente composición.

Imagen: J. Pina 2012. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

En el clavo CAMP/CA 07 – 85/3, la mayoría de las inclusiones son del segundo tipo (Fig. A.8.13). Esta diferencia es consistente con el tenor de plomo presente en las muestras (véase la Tabla A.8.3). Inclusiones globulares de semejante composición fueron registradas en el clavo CAMP/CA 06 – 16/3 (Fig. A.8.14).

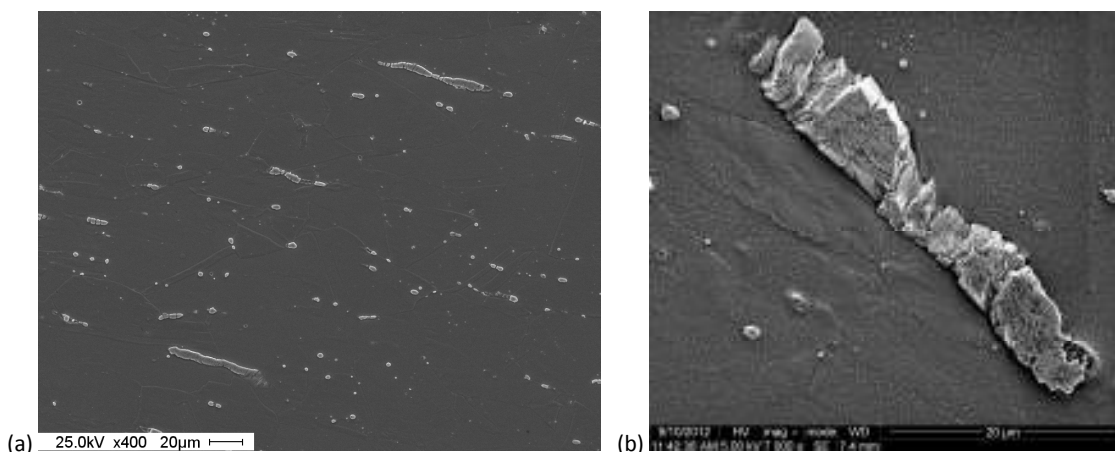


FIGURA A.8.13 – IMÁGENES SEM DE LAS INCLUSIONES DEL CLAVO CAMP/CA 07 – 85/3.

Imágenes SEM del clavo (astil-punta), en las que se aprecian las inclusiones de plomo: (a) vista general, en el sentido longitudinal; (b) detalle de una inclusión.

Imágenes: G. Maxia 2012. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

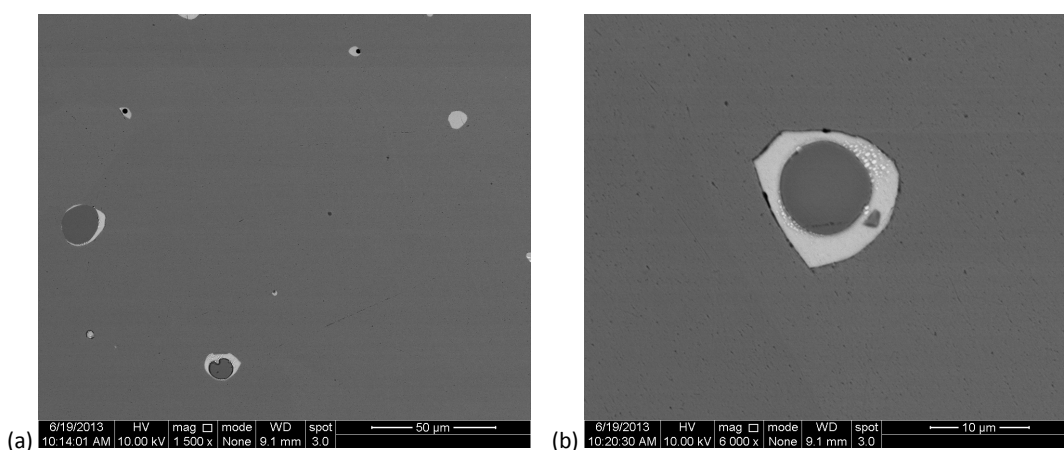


FIGURA A.8.14 – IMÁGENES SEM DE LAS INCLUSIONES DEL CLAVO CAMP/CA 06 – 16/3.

Imágenes SEM del clavo (sector de la cabeza-astil, corte longitudinal), en la que se aprecian las inclusiones globulares: (a) vista general, con inclusiones de Cu_2O (gris oscuro) y ricas en Pb, Sb y As (gris claro); (b) detalle de una de las inclusiones (centro de Cu_2O y periferia de compuesto con alto contenido de Pb).

Imágenes: M. Pianetti 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

El posterior análisis puntual de las inclusiones, por medio de EDS, confirmó los datos anteriores. En el caso del clavo CAMP/CA 07 – 85/3, las inclusiones gris claro poseen una composición mayoritaria de plomo, junto con otros elementos minoritarios tales como arsénico, antimonio y hierro (Fig. A.8.15-a). En el clavo CAMP/CA 07 – 85/10, en cambio, la mayoría de las inclusiones son de Cu_2O . No obstante, también se detectaron algunas otras ricas en plomo, y con proporciones variables de antimonio, arsénico, estaño, hierro y bismuto semejantes a las registradas en el primer ejemplar (Fig. A.8.15-b). Inclusiones ricas en plomo, arsénico y antimonio, también fueron observadas en la muestra CAMP/CA 06 – 16/3 (Fig. A.8.15-c).

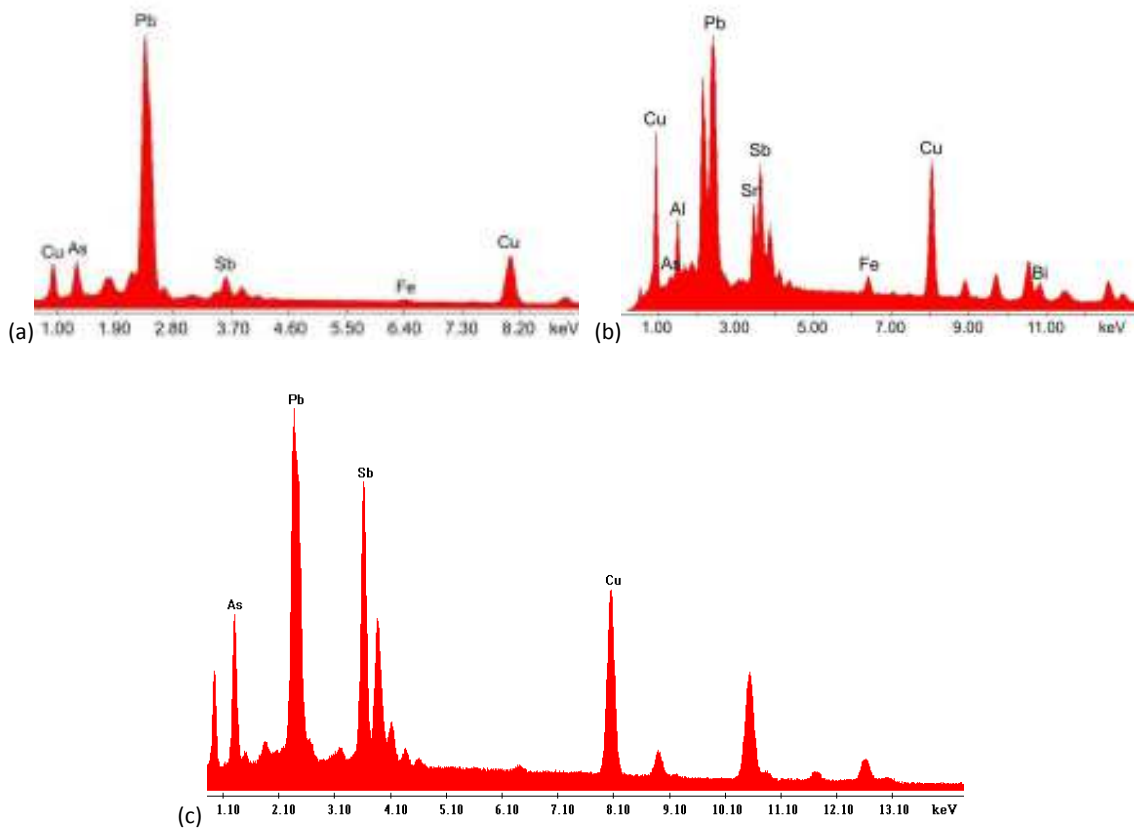


FIGURA A.8.15 – COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS INCLUSIONES.

Espectros EDS de las inclusiones: (a) inclusión de plomo del clavo CAMP/CA 07 – 85/3 (astil, cerca de la punta); (b) inclusión con alto contenido de plomo del clavo CAMP/CA 07 – 85/10 (astil, cerca de la punta); (c): inclusión rica en plomo, antimonio y arsénico, del clavo CAMP/CA 06 – 16/3 (cabeza-astil).

Imágenes: J. Pina 2012 (a y b) y G. Maxia 2013 (c). Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

Pernos

En líneas generales, recordemos, los pernos solían emplearse para la ligazón de algunos de los siguientes elementos: quilla-varenga-sobrequilla; forro externo-varenga-forro interno-carlinga; forro externo-cuaderna forro interno-bulárcama; forro externo-cuaderna-forro interno-curva de bao y forro externo-cuaderna-forro interno-durmiente. Los pernos más largos se localizaban principalmente en los extremos del barco (codaste y roda); en las carlingas del pelo mayor y trinquete; en el tajamar (o prolongación de la roda) y en los costados, en particular a la altura de las curvas para los baos de cubierta (véase el capítulo 6).

En el caso del *Fougueux*, los pernos hallados en el sitio son del tipo pasante, tienen un astil circular e iban remachados sobre una arandela. Tienen una longitud de 600 a 900 mm, y una sección circular de 25 a 30 mm de diámetro (véase Rodríguez Mariscal 2010:121-123). A continuación presentamos los análisis realizados sobre dos ejemplares de cobre (CAMP/CA 07 – 85 y CAMP/CA 06 – 16/1), que fueron catalogados como pernos largos, uno de ellos con arandela (véase las Figs. A.8.3 y A.8.4).

El perno CAMP/CA 07 – 85 tiene un astil de sección circular; cabeza circular y plana; y punta redondeada. Tiene una longitud de ca. 905 mm y una sección de ca. 27 mm de diámetro, que es aproximadamente regular a lo largo de todo el astil (se consideraron los sectores que poseen menor grado de deterioro). Cabe destacar que el sector de la punta no presenta indicios de haber sido remachado sobre una arandela (véase más abajo). En este caso, podría tratarse de pernos no pasantes (conocidos en inglés como *blind bolts*; o *drift bolts*, en EE.UU.), utilizados para la fijación de piezas estructurales de dimensiones considerables, tales como los maderos del dormido (Michael McCarthy, com. pers. 2012).¹ Alternativamente, es posible que estas piezas se llevaran a bordo como objetos de repuesto.

La pieza CAMP/CA 06 – 16/1 consiste en un fragmento del extremo de un perno con arandela (véase la Fig. A.8.4-d). La porción conservada del astil (y la punta inclusive) posee un largo de 166 mm. Considerado sobre un mismo plano, el

¹ El sistema de cierre de los pernos sobre arandela circular, característico de la época del *Fougueux*, fue observado en otros pernos del sitio que aún se encuentran asociados a la estructura de madera (véase la Fig. A.8.2).

diámetro del extremo remachado mide 27 mm (en el sentido perpendicular el valor es 24 mm); por debajo de la arandela es 24,5-25 mm y en la porción restante del astil, visiblemente deteriorada, disminuye hasta 19 mm. La arandela tiene forma ovalada, probablemente debido al desgaste, y mide 39 x 43 mm (diámetro de la circunferencia exterior); el espesor promedio es 7 mm.

El perno CAMP/CA 07 – 85 presenta, según lo observado por medio de OM, una microestructura monofásica del color característico del cobre, con granos de forma y tamaño no uniformes, sin deformación. Se aprecian maclas de recristalización e inclusiones con las características de óxido de cobre (Cu_2O). En su mayoría, estas últimas están alineadas en el sentido axial de la pieza (Fig. A.8.16).

En el corte longitudinal, además, se pueden apreciar numerosos granos alargados (Fig. A.8.17). En el corte transversal, en cambio, estos presentan diversos tamaños, según la zona: son pequeños en los bordes y de mayores dimensiones hacia el interior de la sección (Fig. A.8.18).

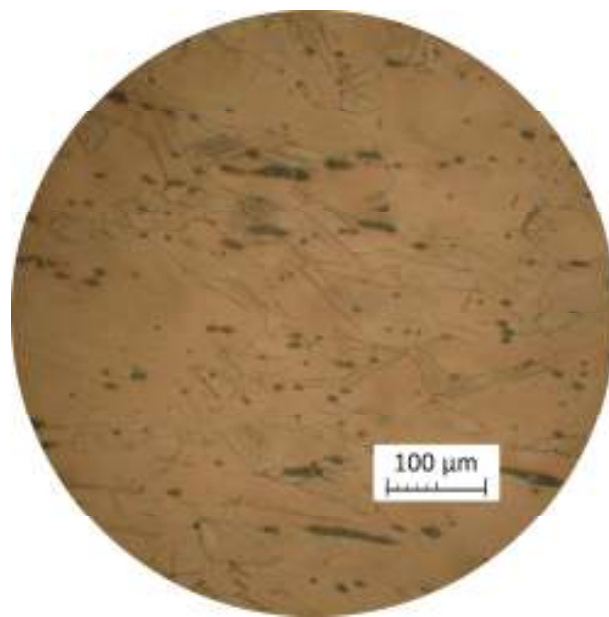


FIGURA A.8.16 – MICROESTRUCTURA DEL PERNO.

Fotomicrografía de la punta del perno CAMP/CA 07 – 85. Nótese las inclusiones alineadas y los granos de tamaño y forma no uniformes (corte longitudinal). Reactivo de ataque: NH_4OH , H_2O , H_2O_2 .

Foto: N. Ciarlo 2012.

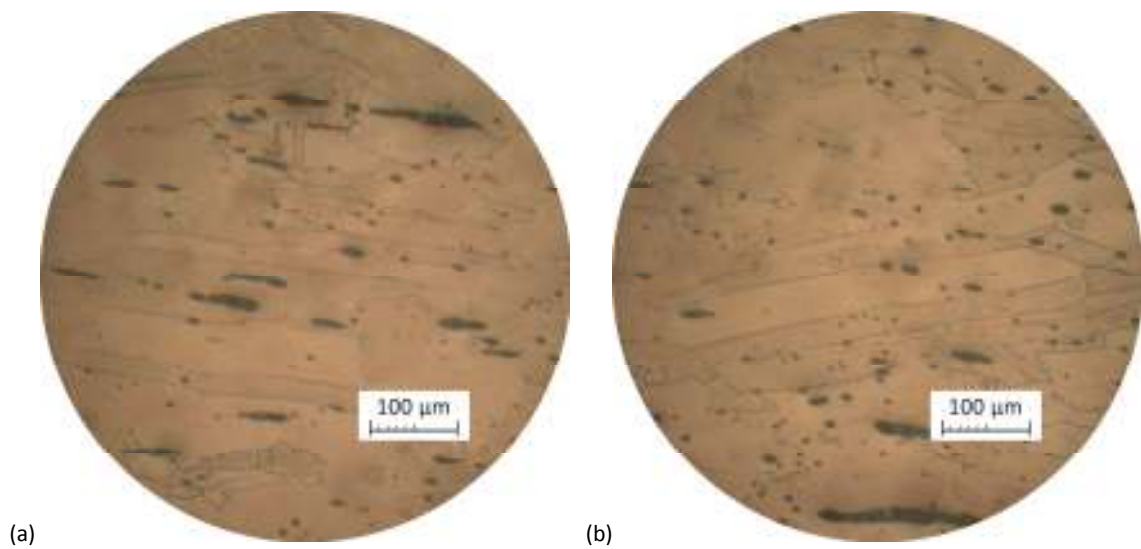


FIGURA A.8.17 – MICROESTRUCTURA DEL PERNO (GRANOS ALARGADOS).

Fotomicrografías de la punta del perno CAMP/CA 07 – 85, adonde se aprecian varios granos alargados en el sentido axial de la pieza (corte longitudinal). Reactivo de ataque: NH_4OH , H_2O , H_2O_2 .

Fotos: N. Ciarlo 2012.

La estructura descrita es típica de un proceso de deformación plástica y recristalización, sin deformación posterior en frío. La existencia de granos de diversos tamaños evidencia una deformación heterogénea, que indicaría una fabricación de tipo manual, por medio de martillado. Es probable que se haya partido de una barra de cobre, la cual pudo haberse manufacturado en frío o en caliente, para evitar las dificultades asociadas al endurecimiento que sufre el cobre trabajado en la primera condición. En este caso, los granos recristalizados y alargados en el sentido del conformado sugieren que la pieza fue deformada en frío, al menos durante la instancia de acabado de la punta, con posterior recocido. Este mismo proceso pudo originar la diferencia de tamaño de grano observada entre la superficie y el núcleo del perno (véase la Fig. A.8.18).

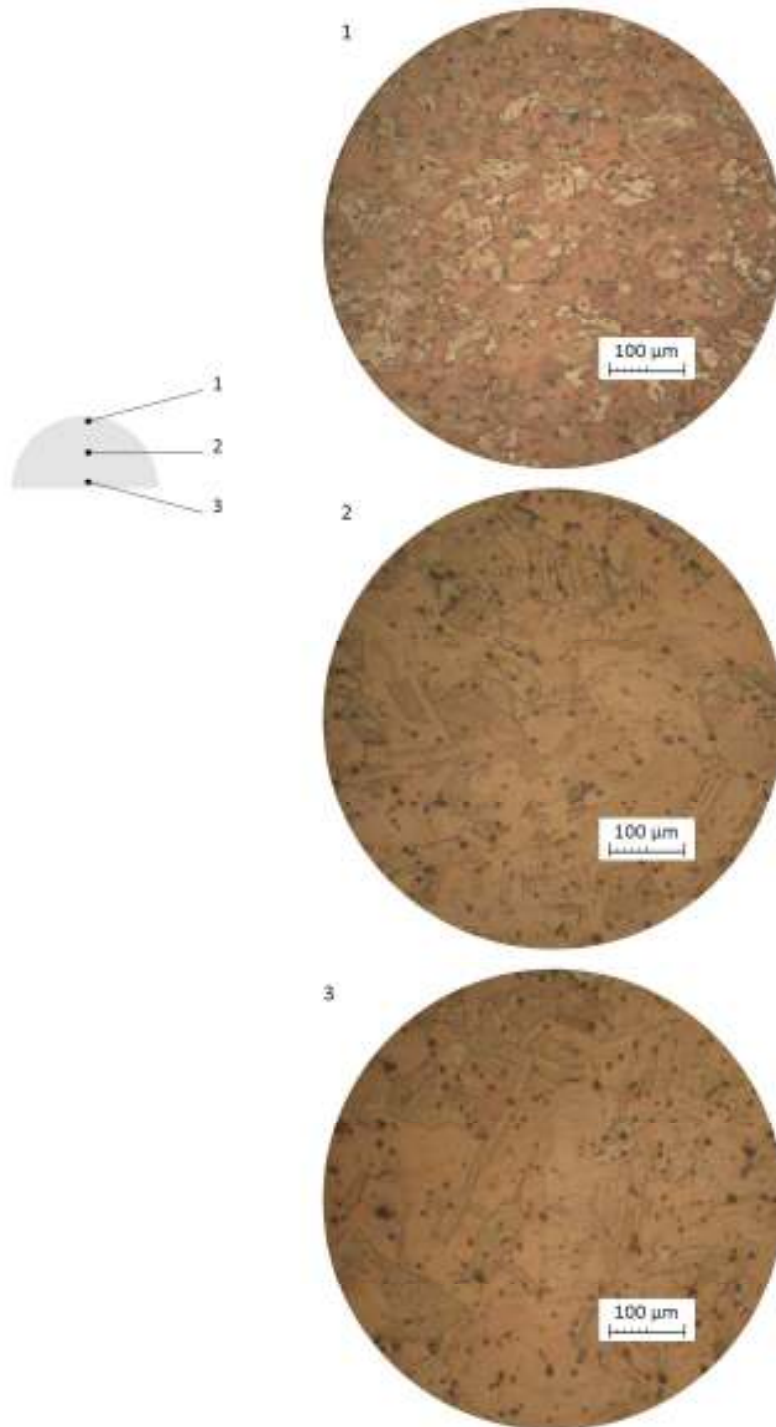


FIGURA A.8.18 – VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO (CENTRO-PERIFERIA).

Fotomicrografías de la estructura de la punta del perno CAMP/CA 07 – 85, en las que se aprecia el crecimiento de los granos de cobre desde la periferia hacia el centro de la sección (corte transversal). En este caso, debido a la orientación del corte, las inclusiones aparecen de forma globular. Reactivo de ataque: NH_4OH , H_2O , H_2O_2 .

Fotos: N. Ciarlo 2012.

La dureza promedio de la pieza en este sector, considerando el corte longitudinal, es 100 ± 7 HV. Las mediciones realizadas sobre el corte transversal muestran un rango de variación más amplio, entre 72 HV y 107 HV (véase la Tabla A.8.2). Estos valores tan disímiles se asocian al tamaño de grano heterogéneo ya referido (la dureza es mayor en aquellas zonas que presenten un grano más pequeño), y a la vez son coherentes con una fabricación de tipo manual.

Con relación a lo anterior, cabe recordar que en 1783 William Forbes patentó un nuevo método para la fabricación de pernos y otros elementos de sujeción de cobre o base cobre, que a grandes rasgos consistía en pasar una barra de este material por un par de rodillos ranurados de tamaño sucesivamente menor (véase el capítulo 6). Ciertas características microestructurales de las piezas así obtenidas pueden considerarse diagnósticas: debido a la reducción controlada de la sección, es esperable que los pernos exhiban escasa variación en los valores de dureza a través de esta última, así como la presencia de granos de dimensiones regulares e inclusiones con una distribución y orientación uniformes. Es posible que parte de los pernos utilizados en el *Fougueux* fueran del tipo obtenido mediante el método de Forbes u otro semejante. En el caso del perno analizado, no obstante, las características relevadas son consistentes con una producción de índole manual (véase Samuels 1983:74-75).²

Un análisis preliminar de la composición química de este perno, llevada a cabo por medio de EDS, indicó que fue hecho con cobre sin alear. Esta información fue posteriormente confirmada por medio de OES y AAS. El segundo perno (CAMP/CA 06 – 16/1) también fue analizado por medio de espectrometría de emisión óptica, y se obtuvo un resultado semejante (véase la Tabla A.8.3). Con relación a esto último, al igual que en el caso de los clavos analizados, ambas piezas presentan una serie de elementos minoritarios en bajas concentraciones (<1 %), que estarían asociados a impurezas, propias del mineral o introducidas durante el proceso metalúrgico, i.e. que no habrían sido incorporados de modo intencional. En el caso del perno CAMP/CA 06 – 16/1, los valores registrados sugieren que el cobre con el que fue elaborado era más refinado que el de la otra pieza. En función de lo

² A pesar de la rápida implementación del nuevo método de fabricación —al menos en los contextos de producción en masa, destinada a las principales armadas europeas—, es probable que este no haya desplazado por completo a la modalidad precedente, con la cual habría coexistido durante algún tiempo.

anterior, es posible afirmar que los pernos fueron manufacturados en distintos talleres o con materia prima procedente de diferente lugar.

En el sitio se hallaron, como anticipamos, varias arandelas circulares sobre las que se remachaba la punta de los pernos pasantes. Las dimensiones de las piezas relevadas están consignadas en la tabla A.8.4. Una de estas piezas (CAMP/CA 06 – 21) fue preliminarmente analizada por medio de EDS (véase la Fig. A.8.4-e). El material con el que fue hecha es cobre sin alear. Al igual que en los otros elementos de fijación de cobre analizados, esta pieza presenta varias inclusiones de compuestos con alto contenido de plomo (Fig. A.8.19).

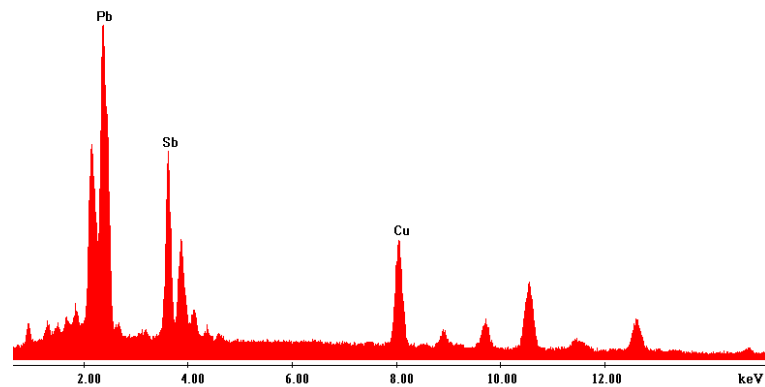


FIGURA A.8.19 – COMPOSICIÓN QUÍMICA DE UNA INCLUSIÓN.

Espectro EDS de una de las inclusiones ricas en plomo presentes en la arandela CAMP/CA 06 – 21.

Imagen: G. Maxia 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

Revestimiento de forro

En el sitio se hallaron algunos restos del revestimiento de cobre, lo cual es consistente con la información histórica sobre la introducción de este tipo de protección en los barcos de guerra franceses (véase el anexo 6). Además, se recuperaron varias tachuelas de cobre o base cobre, utilizadas para la fijación de las chapas al casco. Esta clavazón tiene una morfología típica: cabeza circular y astil de sección cuadrangular (véase Rodríguez Mariscal 2010:94-97,126,127,130).

Tal como mencionamos en la introducción al anexo, los primeros resultados de la caracterización físico-química de este revestimiento fueron presentados por Bethencourt (2008/9, 2010). A partir del análisis de tres muestras (fragmentos de chapas) relacionadas con este sistema de protección, este autor determinó que las planchas fueron hechas en cobre sin alear. Adicionalmente, en un informe dedicado a la presentación de los resultados obtenidos mediante la aplicación de LM, OES y SEM-EDS, realizó una comparación con muestras de otros sitios de la época, de procedencia inglesa y española (véase Bethencourt 2010). De este informe, que el autor nos brindó gentilmente, reproducimos los valores de la composición química elemental de una muestra de ca. 1 mm de espesor, analizada mediante OES:

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>As</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>P</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>Al</i>
99,8	0,009	0,001	0,025	0,063	0,004	0,047	0,004	0,011	0,004	<0,002

Análisis: OES (equipo Spectrolab Jr.).

Referencias: Bethencourt (2010).

Cabe notar el grado de pureza del cobre (99,8 %) y el bajo contenido de plomo y arsénico registrado en las muestras. Esta composición es consistente con la que tenían los revestimientos franceses de finales del siglo XVIII. Contrastan con estos valores los de las planchas de cobre empleadas en aquel entonces por los españoles, que tenían mayores tenores de plomo y arsénico. El elevado contenido de plomo era un rasgo característico del mineral de cobre peninsular, mientras que el tenor del arsénico probablemente responda a una incorporación adrede de este elemento como cementante, operación que estaba destinada a endurecer el cobre (Bethencourt 2010:4,5).³

Por nuestra parte, efectuamos un análisis preliminar de un fragmento de chapa y de algunas tachuelas (Fig. A.8.20), que en la actualidad sigue en proceso.

³ Esto último puede responder, alternativamente, a la utilización deliberada de cobres con mayor contenido de arsénico. El agregado intencional de arsénico era un proceso poco eficiente, debido a las pérdidas sufridas a causa de su evaporación (Horacio De Rosa, com. pers. 2015).

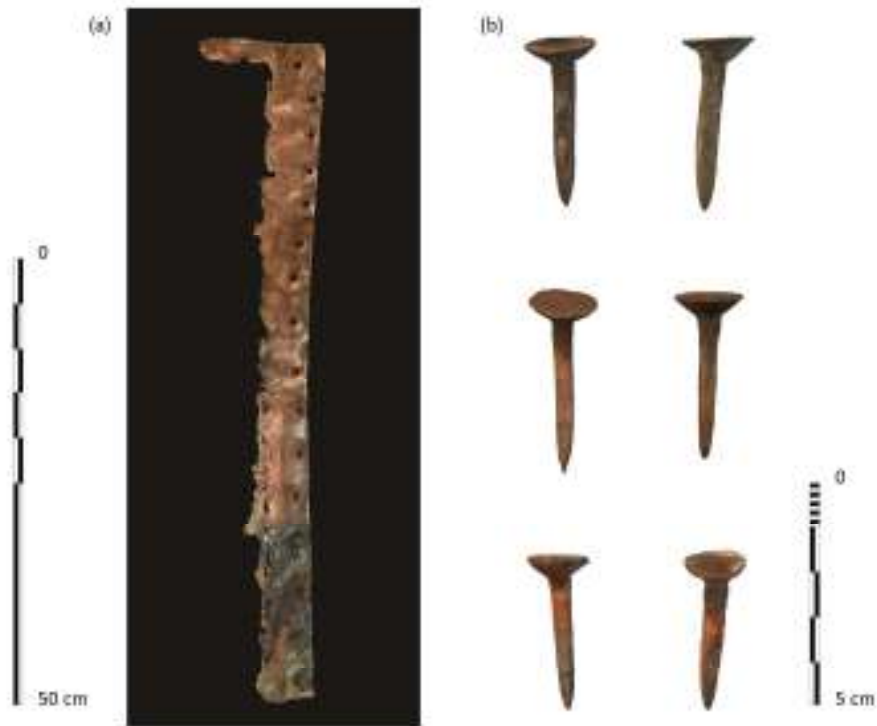


FIGURA A.8.20 – RESTOS DEL REVESTIMIENTO DE COBRE.

Elementos pertenecientes al revestimiento de cobre *Fougueux*, seleccionados para análisis: (a) fragmento de chapa; (b) lote de tachuelas (de arriba abajo, CAMP/CA 07 – 06, 07 – 127 y 07 – 185).

Fotos: CAS-IAPH 2007 (a) y N. Ciarlo 2013 (b). Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Las tachuelas tienen las siguientes dimensiones aproximadas:

- largo total: 37 mm;
- cabeza: 14 mm (diámetro);
- astil: entre 3,5 y 4,5 mm de lado (sección a la altura de la cabeza).

La chapa, según la información obtenida por medio de EDS, fue hecha en cobre sin alear (Fig. A.8.21). Esta información es consistente con lo anteriormente reportado por Manuel Bethencourt, como ya indicamos. Las inclusiones presentes

en el material son de dos tipos: de Cu_2O y de compuestos de antimonio, plomo, arsénico y bismuto. Estas partículas se presentan o bien de forma independiente o bien ligadas; en este último caso están formadas por un núcleo oval de Cu_2O , con uno o dos extremos alargados de aquella otra composición (Fig. A.8.22).

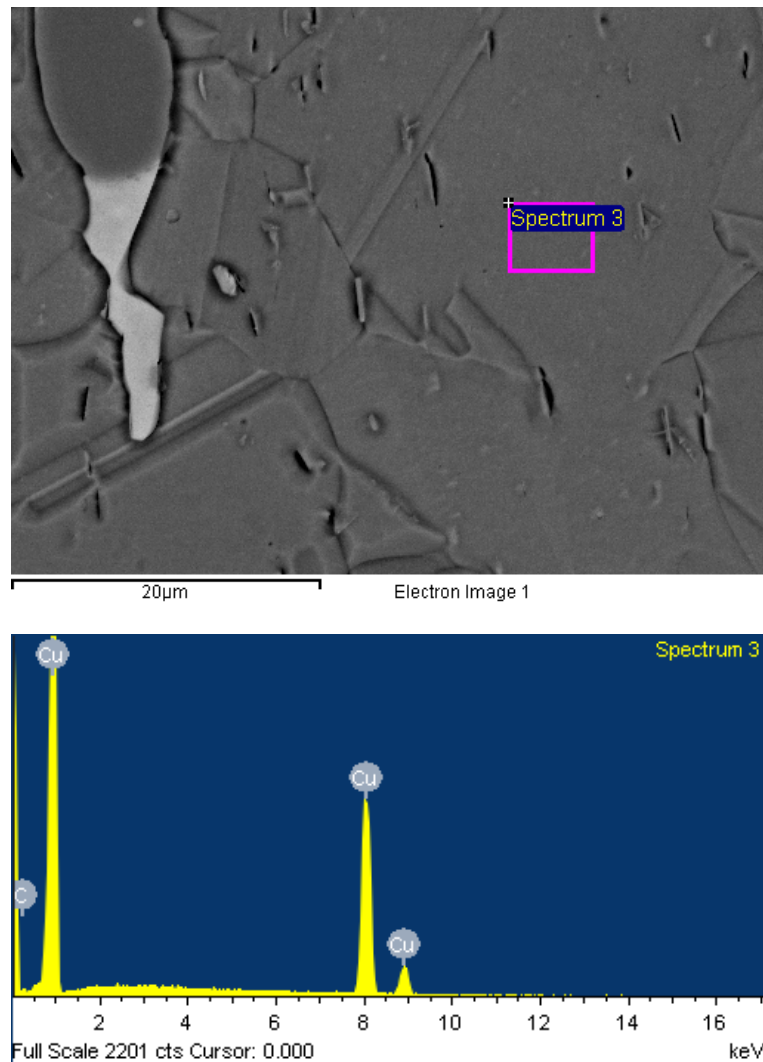


FIGURA A.8.21 – IMAGEN SEM Y ESPECTRO EDS DE LA CHAPA.

Imagen SEM de la microestructura de la chapa y espectro EDS de la matriz de cobre.

Imágenes: María C. Marchi 2015. Reproducción autorizada, cortesía del Centro de Microscopías Avanzadas (FCEyN-UBA).

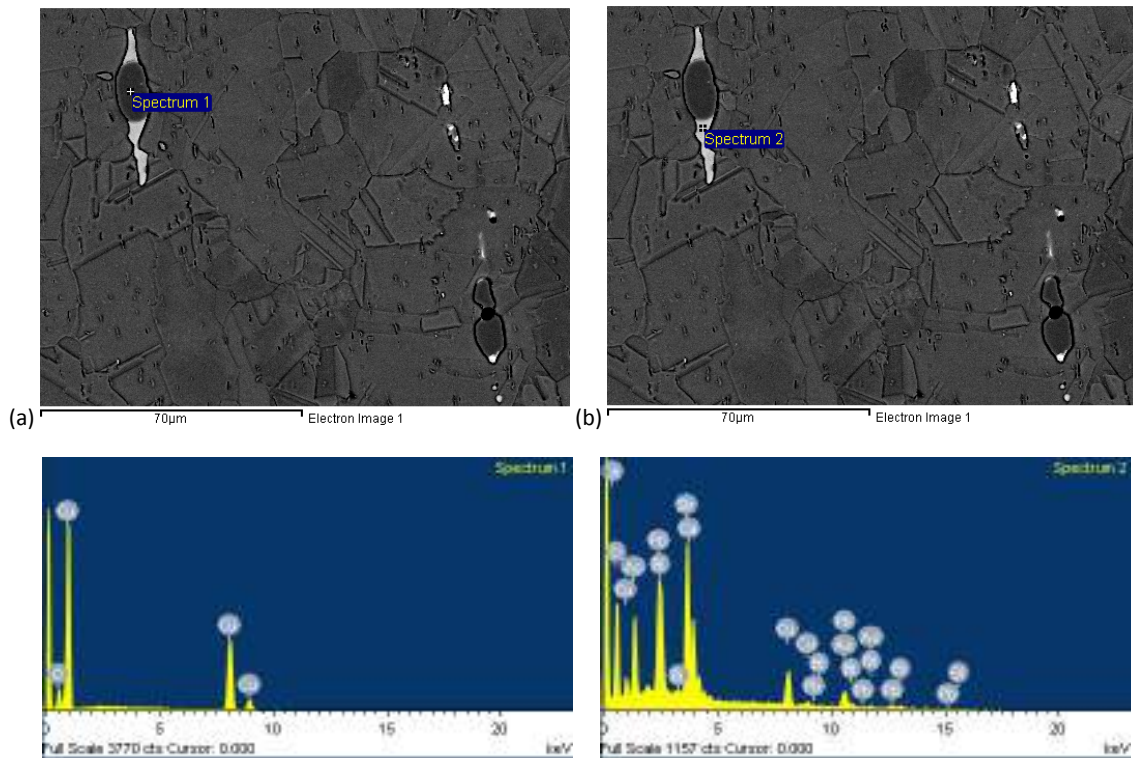


FIGURA A.8.22 – IMÁGENES SEM Y ESPECTROS EDS DE LAS INCLUSIONES.

Imágenes SEM de la microestructura de la chapa y espectros EDS de las inclusiones alargadas, formadas por un núcleo de Cu_2O y un compuesto de Sb, Pb, As y Bi en sus extremos.

Imágenes: María C. Marchi 2015. Reproducción autorizada, cortesía del Centro de Microscopías Avanzadas (FCEyN-UBA).

Tal como sostuvo Rodríguez Mariscal, sobre la base de los análisis realizados por Bethencourt, antes referidos, la composición de las chapas es consistente con el marco temporal del barco. Ya vimos en el capítulo 6 que el forro de cobre se utilizó desde las últimas décadas del siglo XVIII hasta principios del siglo XIX, momento a partir del cual se introdujo progresivamente el revestimiento de latón. Por otro lado, con respecto a la nacionalidad, cabe notar que el cobre utilizado por los británicos en aquella época era reconocido por su calidad (véase el capítulo 2). En este sentido, y teniendo en cuenta otros sitios contemporáneos de diferente pabellón, la composición de las chapas del *Fougueux* es consistente con la procedencia del barco. Los resultados obtenidos por aquel autor para el caso del revestimiento del *Bucentaure* constituyen evidencia a favor de esto último (véase

Rodríguez Mariscal 2010:131-132). En el anexo siguiente ampliaremos la información relativa a este otro navío francés.

Resta mencionar que el sitio también presenta evidencia del uso de planchas de plomo, puntualmente en la cara inferior de la zapata. Aunque los restos registrados por el momento son escasos, su presencia es consistente con la información de las fuentes documentales, que refieren al empleo de chapas de este material a fin de que ciertas partes estructurales estuvieran mejor resguardadas (Rodríguez Mariscal 2010:133-136).

Tablas

TABLA A.8.1 – DIMENSIONES DE LOS CLAVOS DEL TIPO USADOS PARA LAS TABLAS DE FORRO.

CAMP/CA	Largo total ¹	Cabeza ²			Astil ³					
		Lado 1	Lado 2	Alto	A1	e1	A2	e2	A3	e3
2006										
06 – 01	228	23,5	23,5	11,5	16,0	15,0	14,5	12,5	–	–
06 – 16/2	–	–	–	–	–	–	–	–	12,5	6,0
06 – 16/3	–	24,5	22,0	16,5	18,0	18,5	–	–	–	–
06 – 16/4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
06 – 19/1	263	20,0	21,5	12,0	14,0	13,0	11,5	11,0	11,5	4,5
06 – 19/2	228	20,0	22,0	11,0	12,5	12,0	–	11,0	10,0	8,5
06 – 20/3	–	20,5	21,0	11,5	13,5	13,5	–	–	–	–
06 – 20/4	–	24,0	24,0	11,5	16,5	16,0	–	–	–	–
06 – 20/5?	270	22,0	21,0	11,0	14,0	14,0	12,5	9,0	–	–
2007										
07 – 03/2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
07 – 03/3	278	23,0	24,0	14,5	14,0	14,0	–	–	10,5	4,0
07 – 03/4	263	21,5	22,0	11,0	11,5	11,0	12,0	10,5	10,0	4,0
07 – 03/5	272	20,5	17,5	11,5	14,0	15,5	–	–	11,5	3,5
07 – 03/6	263	21,0	21,5	12,0	15,0	15,0	11,5	10,0	9,5	3,5
07 – 03/7	298	23,5	22,5	10,5	14,0	15,0	12,0	12,0	9,0	4,0
07 – 03/8	267	22,5	23,0	13,0	13,0	13,0	11,5	9,0	10,0	4,0
07 – 03/9	305	25,5	27,0	13,0	16,5	16,0	13,0	11,5	12,0	6,0
07 – 03/10	242	22,5	24,0	14,5	14,0	14,5	10,0	8,5	9,5	4,0
07 – 03/11	212	23,5	22,0	13,5	16,0	15,0	12,0	11,0	–	–
07 – 05/1	–	–	–	–	–	–	–	–	11,5	8,0
07 – 05/2	–	–	–	–	–	–	–	–	10,5	8,0
07 – 05/3	232	22,5	21,5	10,5	14,0	13,0	–	–	–	–
07 – 05/4	210	21,0	21,0	11,5	15,0	14,5	–	–	–	–
07 – 05/5	278	21,0	22,5	12,0	15,0	15,0	12,0	9,0	11,0	3,0
07 – 05/6	261	13,0	20,0	10,5	14,0	13,5	–	–	11,0	4,0
07 – 05/7	279	18,5	17,5	9,0	15,0	14,5	12,0	11,0	12,5	5,0
07 – 05/8	284	22,5	22,0	12,5	14,0	13,0	11,0	9,0	12,0	4,5
07 – 05/9	280	20,0	22,0	12,0	13,5	14,0	11,0	9,0	13,0	4,0
07 – 05/10	234	21,0	22,0	11,5	13,0	13,5	–	–	–	–
07 – 05/11	264	23,0	24,0	12,5	15,0	14,5	11,0	9,5	–	–
07 – 05/12	278	21,0	20,5	10,5	14,0	13,5	11,5	10,0	11,0	3,0
07 – 05/13	260	20,5	21,0	9,5	13,0	13,0	–	–	–	–
07 – 25	285	23,0	23,0	–	–	–	–	–	12,0	4,0
07 – 31/1	243	22,0	22,0	4,5	11,5	12,5	–	–	–	–
07 – 31/2	276	24,5	24,0	14,0	15,5	15,0	13,0	12,0	12,0	5,0
07 – 31/3	283	22,0	21,5	12,5	13,0	13,5	–	–	–	–

TABLA A.8.1 – DIMENSIONES DE LOS CLAVOS (CONTINUACIÓN).

CAMP/CA	Largo total ¹	Cabeza ²			Astil ³					
		Lado 1	Lado 2	Alto	A1	G1	A2	G2	A3	G3
2007										
07 – 31/4	268	20,0	19,0	9,5	13,0	13,0	10,5	9,0	13,5	6,0
07 – 31/5	262	22,5	22,0	11,5	15,5	16,0	17,0	9,5	13,0	5,0
07 – 31/6	–	23,0	20,5	11,5	14,0	13,0	–	–	–	–
07 – 31/7	278	20,5	22,0	12,0	16,0	16,0	13,0	10,5	12,0	4,0
07 – 31/8	276	22,0	23,5	12,0	15,0	14,5	11,0	10,0	11,0	4,0
07 – 31/9	272	21,5	23,0	9,0	14,0	14,0	11,0	10,0	12,0	5,0
07 – 34	237	21,5	22,0	–	–	–	–	–	–	–
07 – 85/1	–	–	–	–	15,0	15,0	–	–	–	–
07 – 85/2	276	23,0	22,5	11,5	13,0	12,0	–	–	9,5	5,0
07 – 85/3	295	28,5	29,5	10,5	17,0	16,5	13,5	13,0	13,0	7,5
07 – 85/4	266	24,5	25,0	11,5	14,5	14,5	–	–	–	–
07 – 85/5	305	24,5	25,5	13,0	17,0	16,5	–	–	–	–
07 – 85/6	284	21,5	22,0	11,0	15,5	14,0	15,0	12,0	14,0	4,5
07 – 85/7	257	24,0	24,5	12,5	14,5	14,5	12,0	11,0	–	–
07 – 85/8	279	–	–	–	–	–	–	–	12,0	5,0
07 – 85/9	284	21,5	21,0	12,0	15,0	14,0	12,5	9,5	11,0	5,0
07 – 85/10	280	22,0	24,0	12,5	13,5	13,0	14,0	12,0	13,5	7,0
07 – 85/11	274	22,5	21,5	11,0	13,5	14,0	14,5	11,0	–	–
07 – 85/12	258	21,5	23,0	8,5	14,0	14,0	–	–	–	–
07 – 85/13	283	21,0	20,5	10,0	13,0	13,0	11,5	10,0	11,0	4,0
07 – 85/14	274	22,5	24,5	12,0	12,5	13,0	13,0	11,5	12,0	4,5
07 – 85/15	283	28,5	27,5	14,5	16,5	15,0	–	–	–	–
07 – 88	–	19,0	20,0	–	–	–	–	–	–	–
07 – 101/2	263	19,5	21,0	10,0	14,5	15,0	–	–	–	–
07 – 101/3	262	–	–	–	–	–	–	–	–	–
07 – 101/4	275	24,5	21,5	12,5	15,0	15,0	–	–	11,5	4,5
07 – 101/5	275	18,5	18,5	10,0	13,0	13,0	–	–	10,0	4,5
07 – 101/6	245	22,0	21,0	11,0	14,5	13,5	–	–	–	–
Promedio	267	22	22	12	14	14	12	10	11	5

Referencias:

A. Ancho.

G. Grueso.

1. Todas las medidas están expresadas en mm.

2. El lado 1 coincide con el ancho (A) del astil, mientras que el lado 2 lo hace con el espesor (e).

3. El A1 y el G1 se midieron a 3 cm de la cabeza; el A2 y el G2, a la mitad de la longitud del astil; y el A3 y el G3, a 3 cm de la punta.

TABLA A.8.2 – VALORES DE DUREZA VICKERS.

Artefacto	Metal	Sector ensayado	Microdureza (HV)¹
Perno (CAMP/CA 07 – 85)	Cobre	Punta (c. long.)	100 ± 7
		Punta (c. transv.)	92 ± 12
Clavo de tabla de forro (CAMP/CA 07 – 85/3)	Cobre	Cabeza (c. long.)	99 ± 2
		Astil (c. long.)	92 ± 5
		Astil-Punta (c. long.)	107 ± 9
Clavo de tabla de forro (CAMP/CA 07 – 85/10)	Cobre	Cabeza ²	87 ± 4
		Astil	79 ± 4
		Astil-Punta	119 ± 6

Referencias:

1. En todos los casos se realizó un mínimo de 5 mediciones. La carga empleada para las mediciones de dureza fue de 3 kg.
2. Para el promedio, se desestimó una medición de 127 HV.

TABLA A.8.3 – COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL DE LOS CLAVOS Y PERNOS DE COBRE.

Artefacto	Análisis	Elementos (% en peso)									
		<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>As</i>	<i>Sb</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>Ag</i>
Cobre											
Clavo (07 – 85/3)	OES-AAS ¹	99,2	0,008	<0,003	0,593	0,002	0,095	0,075	0,013	0,038	0,014
	OES ²	Resto (99,3)	0,007	<0,001	0,47	–	0,059	0,045	0,001	0,041	0,015
Clavo (07 – 85/10)	OES-AAS ¹	99,3	0,017	<0,003	0,129	0,023	0,160	0,210	0,011	0,045	0,060
	OES ²	Resto (99,5)	0,014	<0,001	0,11	–	0,096	0,109	0,002	0,047	0,064
Perno (07 – 85)	OES-AAS ¹	97,6	0,008	0,029	0,493	0,240	0,257	0,036	0,002	0,043	–
Perno (06 – 16)	OES ²	Resto (99,6)	0,003	<0,001	0,25	–	0,051	0,022	0,012	0,025	0,048

Referencias:

Cu (cobre); Sn (estaño); Zn (zinc); Pb (plomo); Bi (bismuto); As (arsénico); Sb (antimonio); Fe (hierro); Ni (níquel); Ag (plata).

< (el valor detectado se encuentra por debajo del límite de detección del equipo).

– (no se detectó; el valor es despreciable).

1. Los análisis se realizaron en la empresa ABS Corp.

2. Los análisis se realizaron en el INTI, Centro Regional Córdoba.

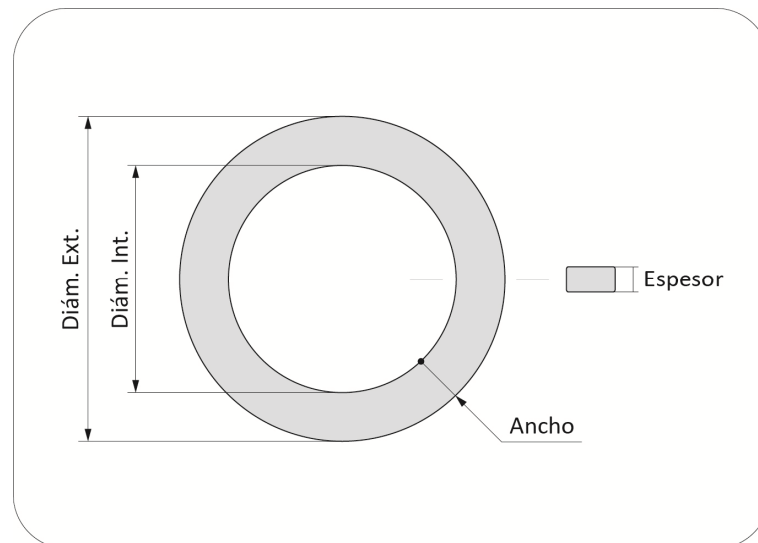
TABLA A.8.4 – DIMENSIONES DE LAS ARANDELAS CIRCULARES PARA LOS PERNOS.

Arandelas	Diám. Ext.	Diám. Int.	Ancho	Espesor
CAMP/CA 06 – 10	50 - 52	32,5	9 - 10	4,5 - 5
CAMP/CA 06 – 16/1 (asociada a perno)	39 - 43	ca. 25	–	7
CAMP/CA 06 – 21	48,5 - 49,5	26 - 26,5	11 - 11,5	6,5
CAMP/CA 06 – 31	53 - 55	31 - 32	10 - 12	6 - 7
CAMP/CA 07 – 86	51 - 52	38 - 39	8 - 10	4,5

Referencias:

Diám. Ext.: diámetro de la circunferencia exterior; Diám. Int.: diámetro del orificio interior (véase el croquis anejo).

Las dimensiones están en mm. Los valores, cuando no son regulares en toda la pieza, aparecen expresados en un rango de mínimo-máximo.



Anexo 9

ANÁLISIS DE MUESTRAS DEL *BUCENTAURE*

Introducción a la sección

En el anexo anterior detallamos los resultados de los análisis realizados sobre una muestra de objetos del *Fougueux*. Esta sección puede ser considerada como una continuación, en tanto en cuanto el *Bucentaure* (1804-1805) fue otro de los barcos franceses que combatió en Trafalgar y uno de los que se perdieron luego en cercanías de Cádiz. De hecho, este navío de 80 bocas de fuego era el barco insignia de la Escuadra Combinada. El barco, que sufrió severos daños estructurales durante la batalla, se fue a pique a consecuencia de un temporal tras encallar en la restinga del Castillo de San Sebastián, frente a la ciudad de Cádiz.

Las piezas de metal aquí analizadas provienen del sitio denominado Bajo Chapitel, cuya investigación estuvo a cargo del CAS-IAPH. En aquel lugar se hallaron diversos restos que, según los estudios arqueológicos, están asociados con el naufragio del *Bucentaure*. En particular, en este trabajo nos abocamos a los elementos de sujeción (clavos) y munición de las piezas de artillería (balas). Los métodos y técnicas instrumentales utilizados para la caracterización de las muestras seleccionadas fueron los mismos que empleamos para los objetos recuperados del *Fougueux* (véase el anexo 8). En este caso, también, dos instancias de trabajo en el centro del CAS-IAPH nos permitieron registrar los objetos de interés y extraer las muestras para análisis.

Algunos resultados sobre los clavos de este sitio fueron presentados junto con aquellos relativos a los elementos de sujeción del *Fougueux* (Ciarlo et al. 2014; De Rosa et al. 2015b). Además de reproducir la información relevante a este respecto,

en este anexo también exponemos los datos recabados del estudio de la munición, publicados sólo parcialmente (Ciarlo et al. 2015c).

Elementos de sujeción

Entre los diversos materiales dispersos en el sitio Bajo Chapitel se localizaron varios pernos, clavos y tachuelas de aleación de cobre (Martí Solano 2008:125). En este caso, los restos de elementos de sujeción estructurales constituyeron una fuente alternativa para la identificación temporal y espacial aproximada del naufragio. Como marco de referencia, utilizamos los artefactos de este tipo procedentes del navío francés *Fougueux* cuyas características presentamos en el anexo anterior.

Clavos

En el capítulo 6 hicimos alusión a las piezas estructurales que estaban unidas por medio de este tipo de elementos. En el sitio en cuestión se hallaron varios clavos de aleación de cobre de diverso tamaño, que yacían aislados (Fig. A.9.1). Aquí analizamos dos de estos ejemplares (BCH/CA 05 – 10 y BCH/CA 07 – 117/1).

Los clavos BCH/CA – 05-10 y BCH/CA 07 – 117/1 poseen similares características morfológicas y su astil se encuentra fragmentado (Fig. A.9.2). Las porciones remanentes miden, respectivamente, 131 y 285 mm de largo. La sección del astil, considerada en tres sectores (debajo de la cabeza, en el punto medio y cerca del otro extremo), tiene las siguientes dimensiones aproximadas: en el caso del primero, 18 x 19 mm, 16 x 17 mm y 15 x 16 mm; y en el segundo, 19 x 19 mm, 16 x 17 mm y 13 x 14 mm. La reducción más marcada en la sección de este último clavo cerca de la punta se debe a que conserva una porción mayor del astil. La cabeza de estas piezas es cuadrangular, y tronco-piramidal; una y otra miden (lado x lado): 26 x 27 y 29 x 30 mm.

A los fines analíticos, estos clavos fueron seccionados a la altura del astil, cerca de la porción fragmentada. La observación se llevó a cabo sobre una sección

longitudinal. Las piezas exhiben una microestructura de granos mayormente equiaxiales y de tamaño uniforme, con maclas de recocido y la coloración rojiza típica del cobre (Fig. A.9.3 y Fig. A.9.4).

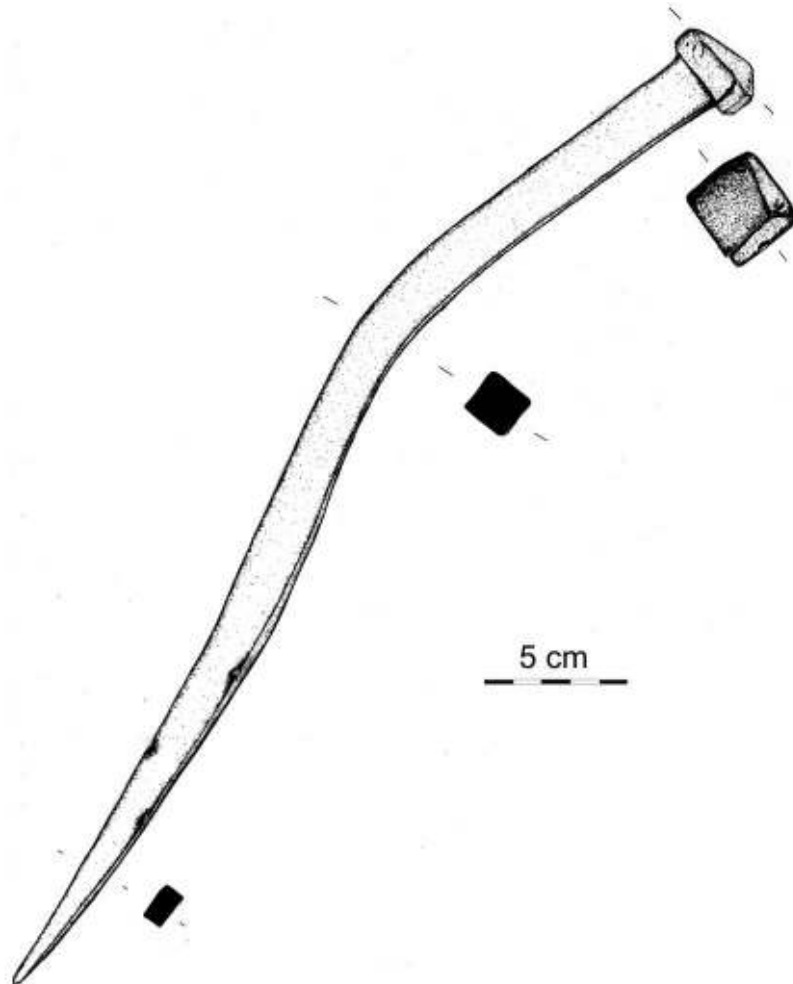


FIGURA A.9.1 – CLAVO DE ALEACIÓN DE COBRE.

Representación de uno de los clavos hallados en el sitio. La pieza posee un astil de sección cuadrangular, cabeza tronco-piramidal y está dentada cerca de la punta.

Gráfico: CAS-IAPH 2008. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.



FIGURA A.9.2 – CLAVOS ANALIZADOS.

Clavos muestreados para examen metalúrgico: (a) BCH/CA – 05-10;
(b) BCH/CA 07 – 117/1.

Fotos: N. Ciarlo 2013. Reproducción autorizada, cortesía del CAS-IAPH.

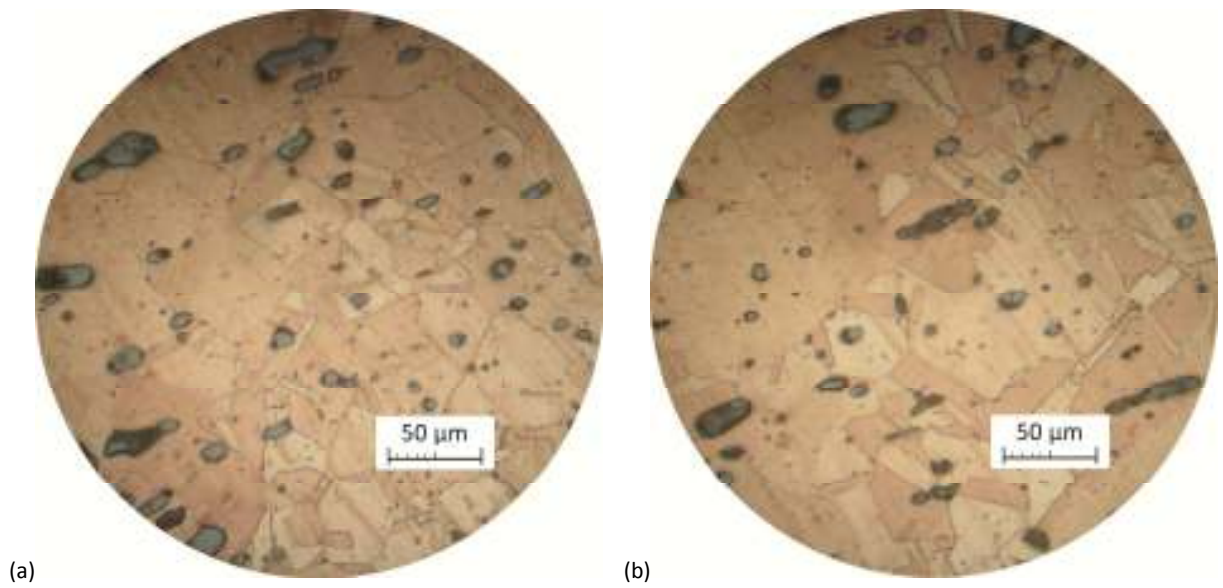


FIGURA A.9.3 – MICROESTRUCTURA DEL CLAVO BCH/CA – 05-10.

Fotomicrografías del astil del clavo: (a y b) microestructura de granos equiaxiales, con maclas de recocido. Reactivo de ataque: NH_4OH , H_2O , H_2O_2 .

Fotos: M. Lucchetta 2013.

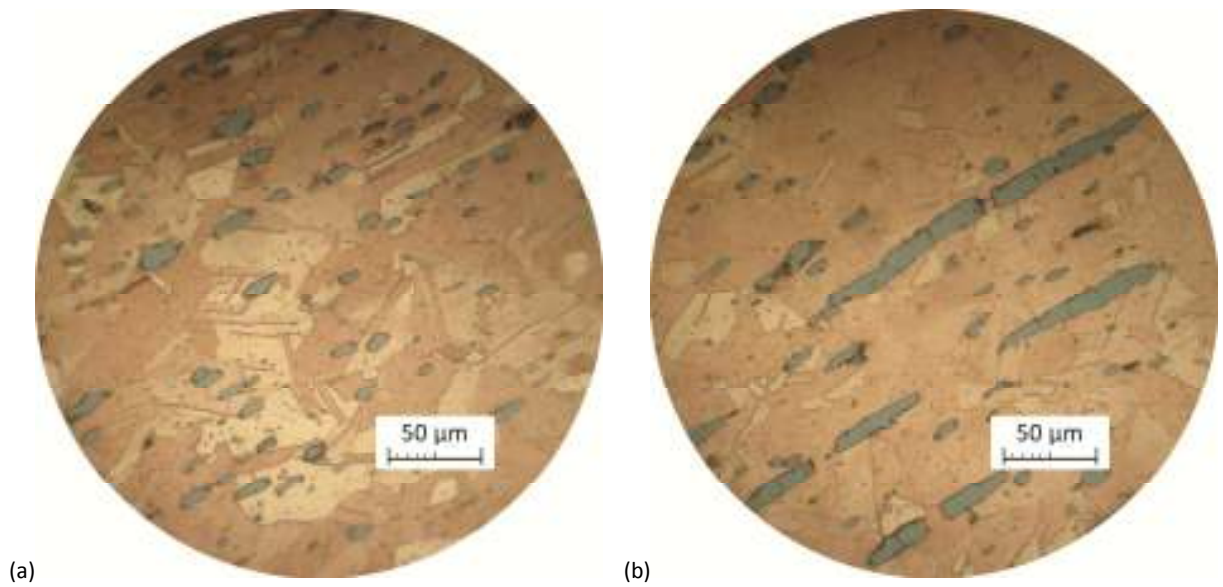


FIGURA A.9.4 – MICROESTRUCTURA DEL CLAVO BCH/CA – 07-117/1.

Fotomicrografías del astil del clavo: (a y b) microestructura de granos equiaxiales, con maclas de recocido. Reactivo de ataque: NH_4OH , H_2O , H_2O_2 .

Fotos: M. Lucchetta 2013.

Ambos objetos presentan numerosas inclusiones no metálicas de diferentes tamaños, alargados en el sentido longitudinal del astil. Esta orientación es más notoria en el caso de la pieza BCH/CA 07 – 117/1, hecho que puede deberse a que el sector analizado (próximo a la punta) estuvo sujeto a una deformación más intensa (véase la Fig. A.9.4). Las inclusiones de mayores dimensiones, que tienen el aspecto de óxido de cobre (Cu_2O), están asociadas a otras menores, de diferente composición. La aleación del clavo BCH/CA 07 – 117/1 fue determinada por medio de OES. La composición de la matriz es Cu 99,5 % (Tabla A.9.1). Con respecto a las inclusiones, el análisis por medio de SEM-EDS permitió corroborar que las partículas mayoritarias de este clavo son de Cu_2O , y que alrededor de estas se agrupan diferentes compuestos de Pb, Sb, Bi y As (Figs. A.9.5 y A.9.6). Las características descritas indican que las piezas fueron hechas en cobre sin alear por medio de deformación plástica en caliente.

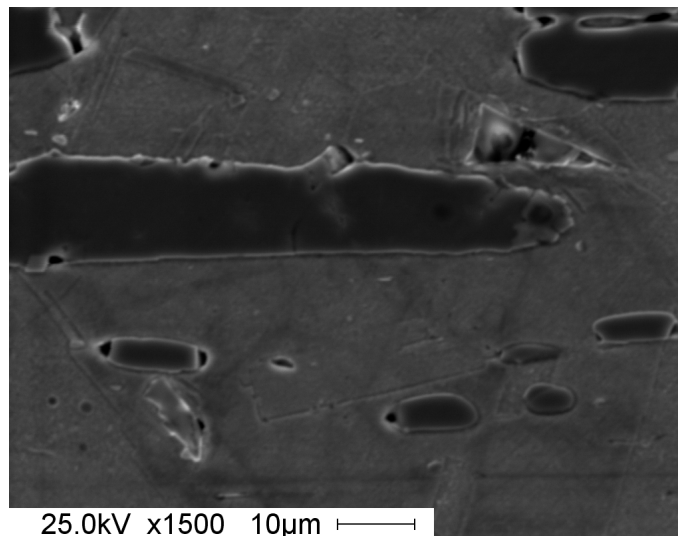


FIGURA A.9.5 – DETALLE DE LAS INCLUSIONES.

Imagen SEM de las inclusiones alargadas de Cu_2O del clavo BCH/CA 07 – 117/1. El círculo indica la zona típica adonde aparecen nucleados los compuestos de Pb, Sb, Bi y As.

Imagen: M. Pianetti 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

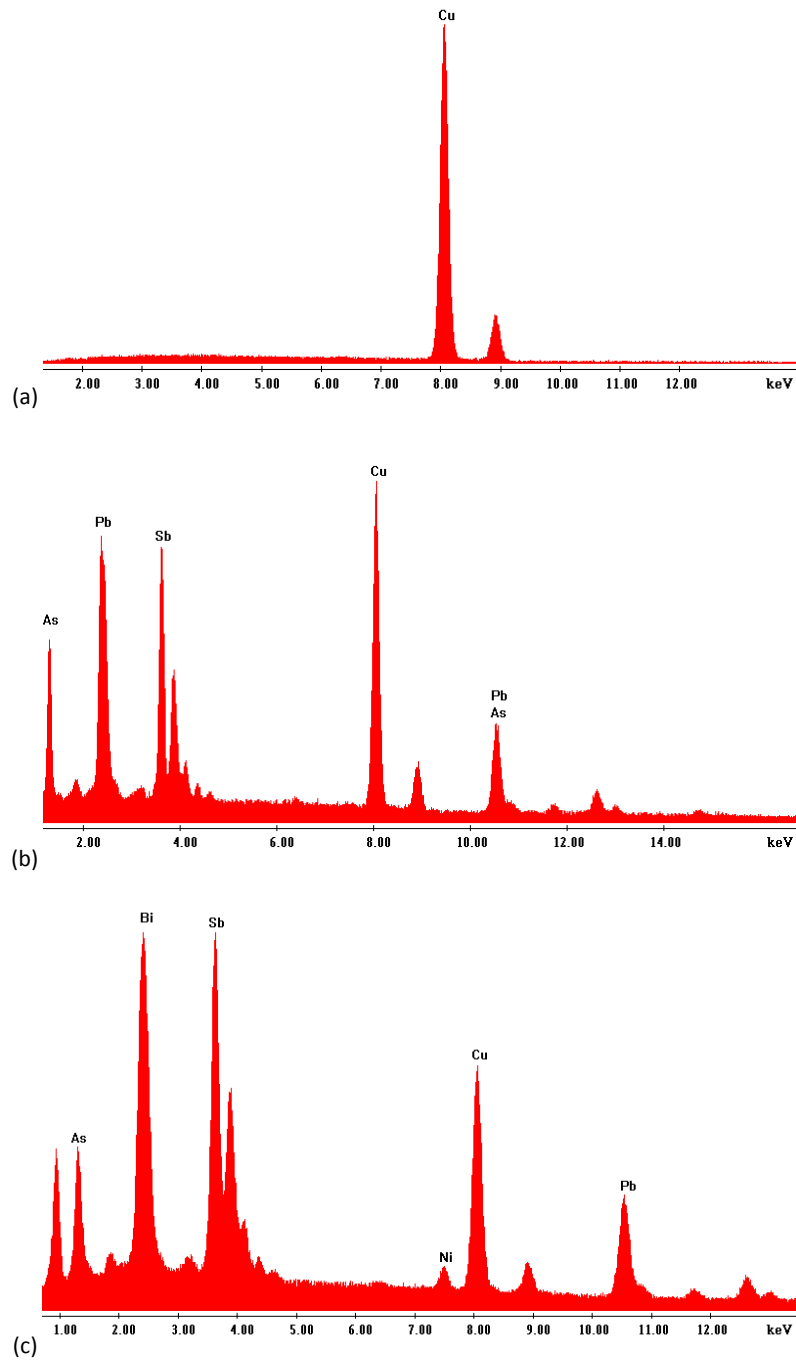


FIGURA A.9.6 – COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CLAVO BCH/CA 07 – 117/1.

Espectros EDS de la composición del clavo: (a) matriz (composición global); (b y c) compuestos de Pb, Sb, Bi y As asociados a las inclusiones de óxido de cobre.

Imágenes: M. Pianetti 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

Artillería

Cañones

El navío *Bucentaure*, según la documentación escrita, estaba artillado con las siguientes bocas de fuego: 30 cañones de a 36, 32 de a 24, 18 de a 12 y 18 de a 8 (estos últimos distribuidos en el castillo de proa y la toldilla); y 6 carronadas de a 36; todos ellos de hierro. Aunque existen algunos indicios documentales y hallazgos fortuitos en la zona que sugieren el posible uso de piezas de artillería de bronce a bordo del barco, durante las actuaciones arqueológicas en el sitio no se halló evidencia que permita reforzar este supuesto (Martí Solano 2008:130,131,137).

En el sitio Bajo Chapitel se localizaron dos agrupaciones de cañones de hierro; un núcleo principal, compuesto por 22 piezas y otro secundario, formado por 6 ejemplares. Ambos conjuntos estarían relacionados. Todos estos cañones fueron posicionados, medidos y fotografiados. De forma complementaria, en varios casos la concreción que les cubría fue removida parcialmente con miras a visualizar posibles marcas de fabricación que arrojaran luz sobre su procedencia, entre otros aspectos de interés (una operación similar fue conducida en el sitio *Fougueux*). Como resultado, se obtuvo información relevante para el análisis de la artillería y, por extensión, para la identificación del sitio arqueológico (véase Martí Solano 2008:72-85,129-139).

Las piezas halladas en el sitio corresponden a Ordenanzas de diferentes años (1778 y 1786). Ello es notorio, si tenemos en consideración que el *Bucentaure* fue construido en 1804, aunque en ciertas circunstancias los barcos artillados para la guerra llevaban a bordo cañones de diferente procedencia y cronología. El pecio, en particular, muestra una diversidad que da cuenta de los problemas financieros y de abastecimiento de Francia en la época de Trafalgar (Martí Solano 2008:132,136,137,144). El conocimiento de las formas de marcaje de los diferentes años, pese a las discrepancias que podían existir entre lo normado y la práctica, resulta de utilidad para el reconocimiento de las piezas procedentes de un naufragio. En la figura A.9.7 se aprecia la inscripción de la faja alta de culata de uno de los cañones, según la cual este fue manufacturado en la fundición francesa de Creusot (Borgoña) en el año 10 de la Revolución (1801/1802). Asimismo, una de las

dos piezas extraídas en 2005 presenta las marcas reglamentarias de las fundiciones francesas entre 1767 y 1786. El cañón, fundido en 1780, posee la inscripción *F N* sobre uno de los muñones, alusiva a la forja de procedencia (*Forge Neuve*), en Francia; en el otro, se percibe la inscripción *B A*, que corresponde a las iniciales del fundidor Baynaud (Martí Solano 2008:132-135).¹



FIGURA A.9.7 – CAÑÓN DEL *BUCENTAURE*, *IN SITU*.

Inscripción de la faja alta de culata de unos de los cañones, procedente de la fundición francesa de Creusot.

Foto: CAS-IAPH 2005. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

La evidencia procedente de este sitio reviste especial interés para el análisis de las innovaciones en el campo de la artillería, en particular la introducción de la carronada —fabricada por los británicos en 1779— y de las llaves de chispa en los cañones (Martí Solano 2008:129).

De las piezas de artillería mencionadas, tres corresponden a carronadas. Una de estas fue recuperada y, en función de los estudios realizados en el laboratorio,

¹ La presencia de M. Baynaud en la fundición de Ruelle hacia 1781 está documentada por Mathieu (1810:256).

se pudo precisar que se trata de una pieza británica de 24 libras, fundida a principios del siglo XIX. El estado de los otros ejemplares, que se encuentran *in situ*, imposibilitó su identificación. Al respecto, cabe notar que los franceses adoptaron este tipo de artillería, incorporada en los barcos británicos durante la Guerra de la Independencia, recién hacia 1804-1805 (año XIII), en reemplazo de los obuses de bronce utilizados en el alcázar y los castillos. Es probable que una de las piezas registradas en el sitio corresponda al flamante modelo francés del año XIII, de 36 libras (véase Martí Solano 2008:131,139-145).

Con respecto al segundo aspecto, el cañón de 12 libras corto extraído del sitio presenta una serie de marcas en la parte posterior de la culata que dan cuenta del uso de una llave de chispa. Cabe notar que este novedoso accesorio, más seguro que el usual sistema de encendido mediante botafuego, fue acoplado a una pieza fundida en el año 1780. Esta acción se enmarca dentro de los adelantos técnicos que afectaron a la artillería tradicional (en uso y nueva) entre finales del siglo XVIII y principios del siguiente (Martí Solano 2008:145-147). El nuevo sistema supuso una ventaja en términos de mayor cadencia y efectividad de los disparos (véase el anexo 8).

Municiones

En los sondeos llevados a cabo a fin de localizar restos estructurales del barco se hallaron diferentes tipos de munición, fundamentalmente balas rasas, saquitos de metralla y palanquetas. La mayor parte de estos restos, que se encontraban concrecionados, no fueron extraídos. Parte de la munición yacía asociada a los respectivos cañones de hierro. A la fecha, existe constancia de munición de los siguientes calibres: 32, 24, 18, 12, 8 y 6 (Martí Solano 2008:126,138).

El cañón de 12 libras corto recuperado del sitio en 2005 se encontró cargado con dos tipos de munición: una bala enramada y un saquete de metralla.

La palanqueta en cuestión (Fig. A.9.8-a) muestra algunas similitudes con las empleadas en aquella época tanto por los franceses como por los ingleses (véase el capítulo 8). Tiene una longitud de 268 mm y el diámetro de los discos laterales es

105 mm. La barra interior, de sección circular, mide 210 mm de largo y entre 41 y 44 mm de diámetro.



FIGURA A.9.8 – BALAS ENRAMADAS.

Diferentes tipos de balas enramadas halladas en el *Bucentaure*: (a) palanqueta recuperada del interior del cañón de 12 libras corto; (b) otra pieza localizada en el sitio, de hierro batido. Miniaturas al 40 %.

Fotos: N. Ciarlo 2013. Reproducción autorizada, cortesía del CAS-IAPH.

También se recuperó otra bala enramada, que presenta notables diferencias morfológicas con respecto a la anterior (Fig. A.9.8-b). La palanqueta tiene una longitud de 325 mm y los extremos, muy irregulares a lo ancho, tienen un diámetro entre 75 y 78 mm. La barra interna es de sección cuadrangular, de 24-25 mm de

lado, y tiene una extensión de 247 mm. Cabe notar que esta pieza muestra indicios macroscópicos del proceso de forja: las extremidades de la palanqueta parecen haber sido enrolladas alrededor de las puntas de la barra central. Un procedimiento similar fue empleado para conformar la cabeza de los pernos de hierro forjado de uno de los barcos vascos del siglo XVI localizado en Red Bay, Labrador (Light 2000: Fig. 6). En el *Fougueux* también se registraron diferentes tipos de palanquetas: *a la española*, *a la francesa* y españolas del tipo inglés (o inglesas) (Rodríguez Mariscal et al. 2010:184-186).

El análisis metalográfico de una muestra obtenida de un extremo de la pieza reveló una microestructura de granos de ferrita equiaxiales de diferentes tamaños, con presencia de inclusiones de óxido de hierro y silicatos; en algunas zonas, estas aparecen alongadas, mientras que en otras están desordenadas. El material no presenta evidencias de deformación posterior a la recristalización. En función de estas características y de la apreciación realizada sobre la pieza a ojo desnudo, es posible afirmar que la muestra corresponde a una tira que fue forjada en caliente alrededor del extremo de una barra de hierro para conformar la palanqueta. Una pieza de similares características fue recuperada del sitio *Machault* (1760) (Bryce 1984: figura 85-c).

El saquete de metralla tiene una base circular de hierro de 110 mm de diámetro y 6,5-7 mm de espesor (Fig. A.9.9). El astil central posee una altura de 188 mm y un diámetro aproximado de 12 mm. Contenía un total de 19 balas esféricas de hierro, de ca. 40-41 mm de diámetro. Al igual que las balas de metralla de otros sitios contemporáneos (véase el anexo 10, por citar un caso analizado en esta investigación) estos ejemplares exhiben marcas superficiales que son producto del proceso de fabricación (i.e. canal de colada y línea de unión de las mitades del molde). Tres de estas piezas (BM-1, 2 y 3), que se encontraban fragmentadas, fueron seleccionadas para realizar un análisis metalográfico.

La microestructura de la muestra BM-1 presenta dos zonas diferenciadas: 1) en la periferia, es fundición blanca y 2) en el interior es fundición gris perlítica con presencia de esteadita y predominancia de grafito tipo B (Figs. A.9.10 y A.9.11). Este último microconstituyente se condice con la presencia de fósforo que fue detectado por medio de EDS (Fig. A.9.12). La presencia de cementita en superficie puede atribuirse a una mayor velocidad de enfriamiento en la zona durante la

solidificación. Entre ambas existe un área de transición. Por otro lado, la muestra presenta algunos poros internos. Cabe notar que no se observaron inclusiones.



FIGURA A.9.9 – SAQUETE DE METRALLA.

Restos de la base y balas del saquete de metralla asociados al cañón de 12 libras corto: (a) vista inferior y frontal de la pieza; (b) una de las balas analizadas (BM-1).

Fotos: N. Ciarlo 2013. Reproducción autorizada, cortesía del CAS-IAPH.

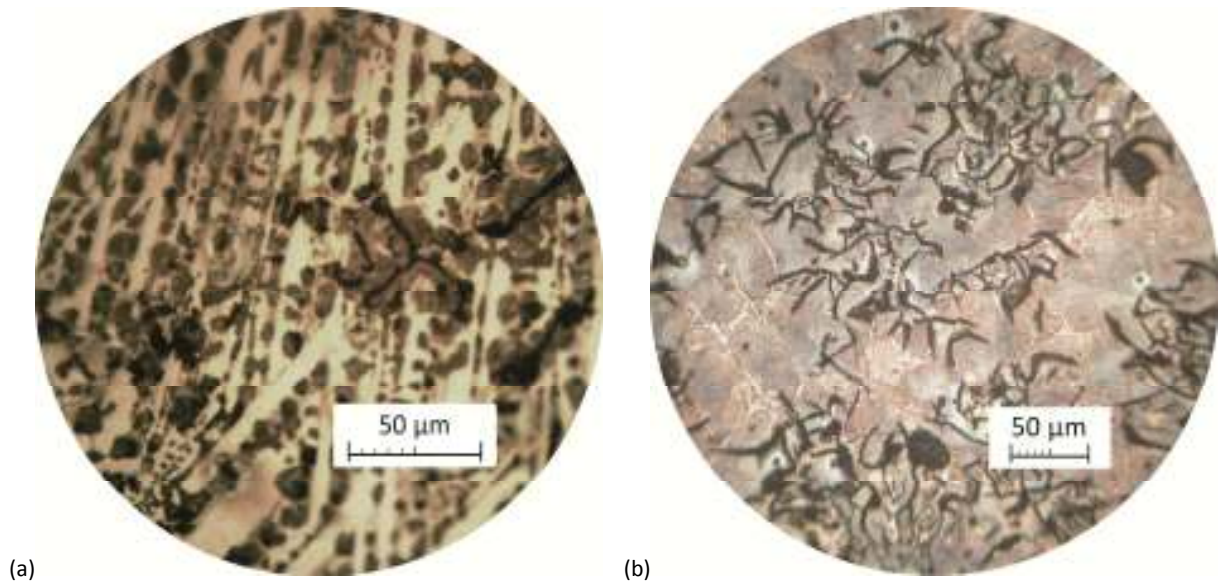


FIGURA A.9.10 – MICROESTRUCTURA DE LA BALA.

Fotomicrografías de la bala de metralla No. 1: (a) cerca de la superficie (fundición blanca); (b) en el interior (fundición gris perlítica). Reactivo de ataque: Nital 2 %.

Fotos: H. De Rosa y A. López 2013.

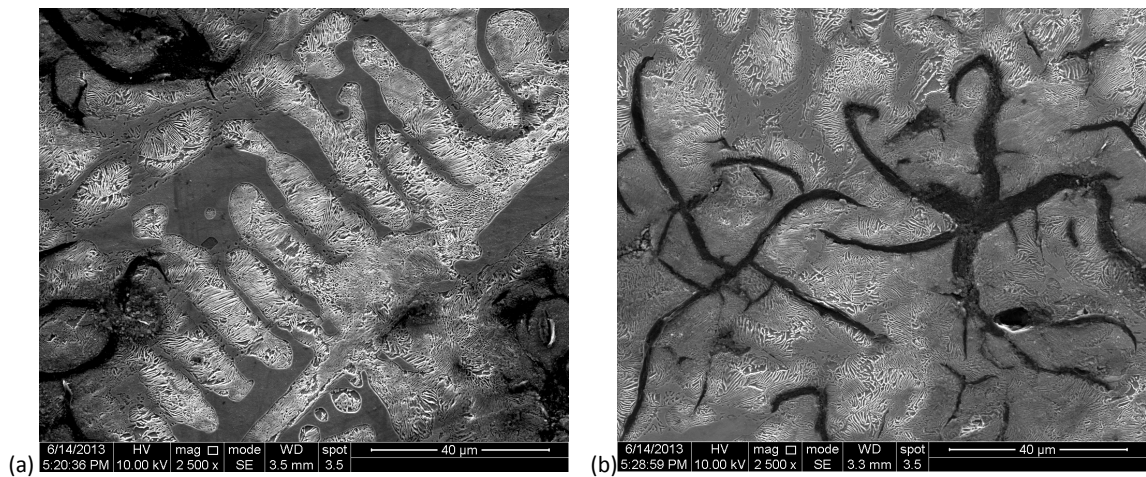


FIGURA A.9.11 – DETALLES DEL SECTOR INTERNO DE LA BALA.

Imágenes SEM de la muestra BM-1: (a) estructura dendrítica de la fundición gris perlítica; (b) detalle de las láminas de grafito.

Imágenes: M. Pianetti 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

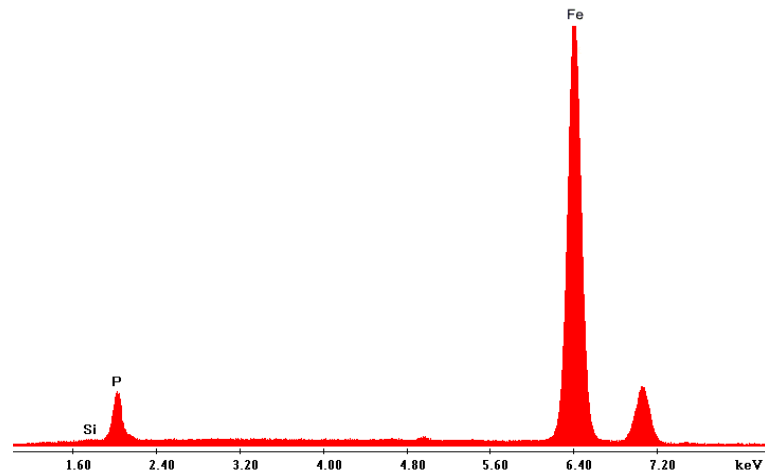


FIGURA A.9.12 – COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MATRIZ.

Espectro EDS de un sector de la bala en el que se aprecia el contenido de fósforo de la fundición. El carbono no está registrado (por ser un elemento liviano).

Imagen: G. Maxia 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

La bala de metralla No. 2, de similares dimensiones que la anterior, fue analizada parcialmente a partir de un fragmento obtenido de un sector próximo al canal de colada. Las características microestructurales de ambas piezas, en el sector referido, son similares: fundición blanca cerca de la superficie, con tendencia a fundición gris perlítica hacia el interior (Fig. A.9.13).

El análisis por medio de EDS permitió determinar la presencia de partículas de titanio y sulfuro de manganeso (Fig. A.9.14). Las primeras están asociadas con cierto tenor de vanadio. Este elemento también fue detectado utilizando la misma técnica, aunque en concentraciones mínimas, en la muestra BM-1. Es probable que corresponda a una impureza procedente del mineral de hierro utilizado para la obtención de la materia prima. Debe destacarse que este elemento, en muy pequeñas cantidades, puede mejorar las propiedades mecánicas de las fundiciones de hierro.²

² El vanadio (V) fue descubierto en dos oportunidades. En 1801, el profesor hispano-mexicano de mineralogía Andrés Manuel del Río Fernández creyó haber descubierto un nuevo elemento al examinar un mineral que hoy conocemos como vanadinita, y que denominó *pancromio* debido a la

El tercer ejemplar seleccionado fue examinado a unos pocos milímetros de la superficie. Allí se aprecia una microestructura formada principalmente por cementita, con presencia de perlita y algo de esteadita.

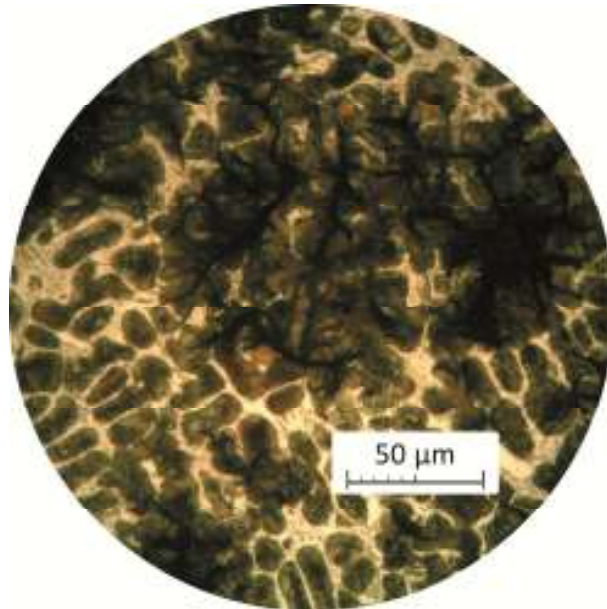


FIGURA A.9.13 – MICROESTRUCTURA DE LA BALA.

Fotomicrografía de la bala de metralla No. 2: fundición gris perlítica con esteadita. Reactivo de ataque: Nital 2 %.

Foto: A. López 2013.

Cabe notar el hallazgo de un armazón de hierro que fue identificado como una carcasa o bala incendiaria que se empleaba en morteros y obuses. Asimismo, y aunque yacen por fuera del alcance del presente trabajo, podemos mencionar que en el sitio también se localizaron numerosas balas de mosquete (Martí Solano 2008:125).

diversidad de colores que presentaban sus sales (poco después lo llamó *eritronio*). Sin embargo, la muestra fue incorrectamente catalogada por el químico francés Hippolyte Victor Collet - Descotils como un mineral de cromo, lo que llevó a del Río a retractarse de su descubrimiento. En 1831, finalmente, el químico sueco Nil Selfström logró obtener vanadio de una muestra de fundición de hierro obtenida con mineral de Småland, en el Sureste de Suecia (Emsley 2012:13).

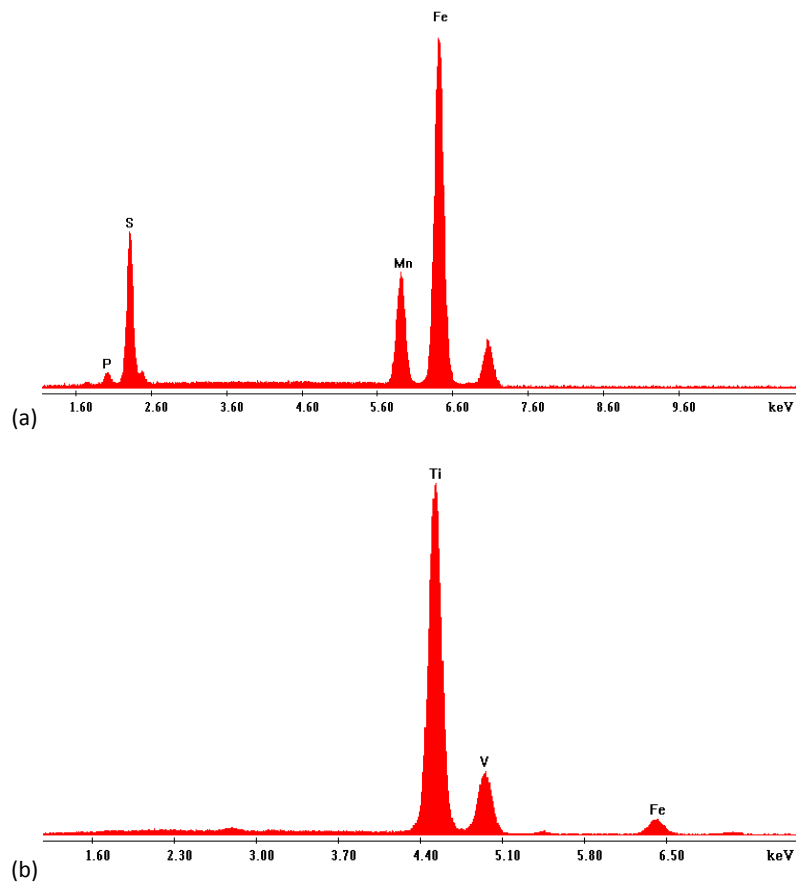


FIGURA A.9.14 – COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS INCLUSIONES.

Espectros EDS de las inclusiones de la bala No. 2: (a) partículas de MnS; (b) partículas de Ti.

Imagen: G. Maxia 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

Revestimiento de forro

Varios fragmentos de chapas del aforro metálico del barco fueron hallados dispersos en el sitio (Martí Solano 2008:94). Estos restos fueron analizados en otra ocasión (véase Bethencourt 2010). Los estudios mediante OES de una muestra de chapa indicaron la siguiente composición química:

<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>As</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>P</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>Al</i>
99,8	0,004	0,001	0,013	0,104	<0,001	0,012	0,011	0,006	0,008	<0,002

Análisis: OES (equipo Spectrolab Jr.).

Referencias: Bethencourt (2010).

Nótese, como bien resaltó este investigador, la semejanza entre los contenidos de cobre, plomo y arsénico de esta chapa y las halladas en el otro navío francés estudiado (véase el anexo 8). Así como en el caso de los clavos, estos restos constituyen evidencia a favor de la adscripción del sitio como el naufragio del *Bucentaure*.

Misceláneas

Herrajes y planchas de plomo

Varios de los restos de hierro concrecionados corresponden a elementos de la jarcia. En particular, zunchos de vigota, cuyas dimensiones son consistentes con las de las piezas utilizadas en navíos de 74 cañones o más, así como otros herrajes cuya función aún no pudo ser determinada. También fueron halladas varias chapas de plomo de alrededor de 1 m², que pudieron servir para el revestimiento de diferentes sectores en el interior del barco (Martí Solano 2008:126-128).

Tablas

TABLA A.9.1 – COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL DE UNO DE LOS CLAVOS.

Artefacto	Análisis	Elementos (% en peso)									
		<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>As</i>	<i>Sb</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>Ag</i>
Cobre											
Clavo (07 – 117/1)	OES ¹	Resto (99,5)	0,012	<0,001	0,10	–	0,182	0,037	<0,001	0,065	0,027

Referencias:

Cu (cobre); Sn (estaño); Zn (zinc); Pb (plomo); Bi (bismuto); As (arsénico); Sb (antimonio); Fe (hierro); Ni (níquel); Ag (plata).

< (el valor detectado se encuentra por debajo del límite de detección del equipo).

– (no se detectó; el valor es despreciable).

1. Los análisis se realizaron en el INTI, Centro Regional Córdoba.

Anexo 10

ANÁLISIS DE MUESTRAS DEL DELTEBRE I

Consideraciones generales

En este anexo exponemos los resultados preliminares de los análisis de caracterización realizados sobre un conjunto de muestras metálicas del sitio Deltebre I (1813). Este pecio fue identificado como uno de los transportes del convoy al mando del Tte. Gral. John Murray, que en junio de 1813 trató infructuosamente liberar a Tarragona de las tropas napoleónicas. Una vez retirado el bloqueo de la ciudad, la expedición partió de regreso a Alicante. Rumbo al sur, algunos de los transportes encallaron a causa de un temporal en la desembocadura del río Ebro (Cataluña). Las investigaciones arqueológicas en el sitio fueron emprendidas en 2008 y desarrolladas anualmente sin solución de continuidad por el equipo del CASC-MAC, bajo la dirección del Dr. Gustau Vivar Lombarte.

Entre los hallazgos realizados cabe mencionar diversos tipos de munición (e.g. balas de fusil y cañón; bombas de mortero; barriles con pólvora y piedras de chispa) y artefactos relacionados con la navegación, la higiene personal, la alimentación, la indumentaria y el culto religioso (Vivar et al. 2014). Las investigaciones en el sitio se encuentran actualmente en proceso. Este naufragio reviste especial interés dado la alta definición temporal y espacial del cargamento, destinado fundamentalmente a abastecer a la tropa encargada de sitiar Tarragona, y el notable estado de preservación que muestran los restos.

Los artefactos estudiados forman parte de la mencionada carga, así como de la propia estructura del barco; en particular, corresponden a las siguientes categorías: elementos de sujeción (pernos y clavos), revestimiento de forro (chapas y tachuelas) y artillería (balas). El estudio preliminar de muchas de las piezas y la

toma de muestras para análisis fueron realizados dentro de las instalaciones del CASC-MAC, en tres ocasiones: noviembre de 2011, enero-febrero y noviembre de 2013.

Entre los medios de análisis empleados podemos destacar los siguientes: examen metalográfico mediante microscopía óptica (OM) y microscopía electrónica de barrido (SEM); determinación química por medio de espectroscopia de rayos X dispersiva en energía (EDS), espectrometría de emisión óptica (OES) y espectrometría de absorción atómica (AAS); y ensayo de dureza Vickers (HV).

Recientemente hemos presentado de forma sucinta algunos de los resultados obtenidos, en particular con respecto a las tachuelas y las diferentes balas de cañón (e.g. Ciarlo 2014b, 2015b; Ciarlo et al. 2015b, 2015c, 2016). En este apartado profundizamos la información volcada en los trabajos citados. Asimismo, se prevé continuar con el análisis de los materiales recuperados y, teniendo en cuenta la agenda de excavaciones futuras, de otros objetos que aún se encuentran localizados en el sitio.

Elementos de sujeción

Los restos estructurales del barco estaban unidos entre sí por medio de pernos de cobre y clavos de aleación de cobre de diverso tamaño (Fig. A.10.1). Varios elementos de estas características, que se encontraron desprendidos de los maderos, fueron recuperados para su análisis.

Pernos

Los maderos de la estructura longitudinal y transversal del barco, i.e. quilla, cuadernas y sobrequilla, están unidos mediante pernos de cobre, que atraviesan los diferentes componentes y están asegurados mediante el remache de la punta sobre una arandela circular. Asimismo se emplearon otros, no pasantes (más

cortos que los primeros), para fijar los extremos de las tablas del forro a las cuadernas (Vivar et al. 2014).

En el área de popa se pueden apreciar los elementos de sujeción utilizados para unir diferentes partes estructurales. Los pernos de la figura A.10.1-a corresponden a los que unían la curva coral y los dormidos, mientras que los que se ilustran en la figura A.10.2-b son aquellos con que se fijaban, por sus extremos, las tablas del forro exterior.



FIGURA A.10.1 – PERNOS DE LA ESTRUCTURA DEL BARCO DELTEBRE I.

Elementos de sujeción de cobre empleados para fijar los maderos del casco: (a) algunos de los pernos que sobresalen de la cara superior de la curva coral (del codaste); (b) par de pernos del extremo suelto de una de las tablas del forro exterior.

Fotos: CASC-MAC 2009. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

A la fecha, del sitio se extrajeron varios pernos de cobre de diferente tamaño (Fig. A.10.2). Las dimensiones de estas piezas están detalladas en la tabla A.10.1.

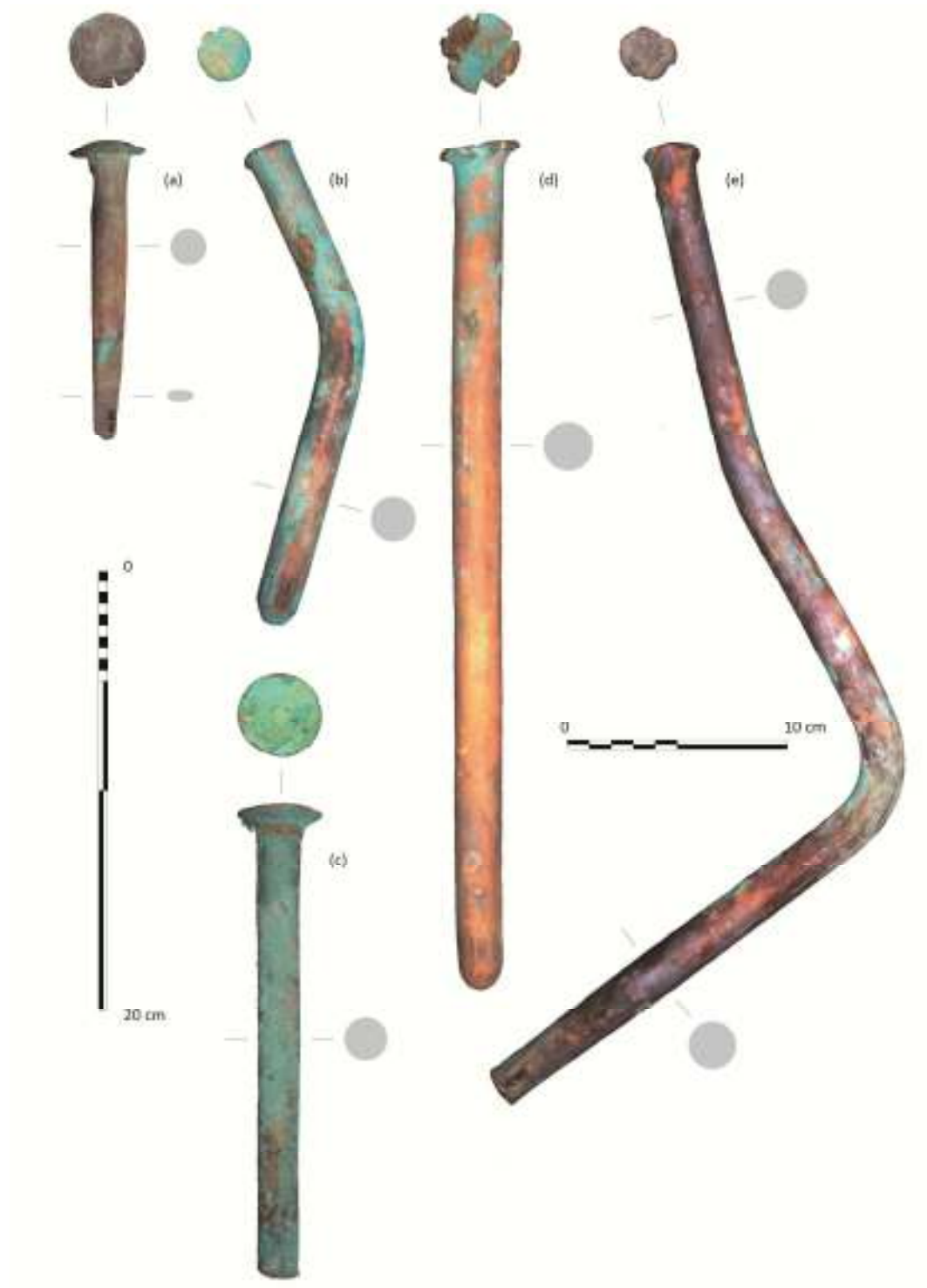


FIGURA A.10.2—PERNOS EXTRAÍDOS DEL SITIO.

Diferentes pernos de cobre hallados en el sitio Deltebre I: (a) corto, no pasante; (b) mediano, no pasante; (c) mediano/largo (¿astil quebrado?); (d) largo, no pasante; (e) largo, pasante (¿astil quebrado?).

Foto: N. C. Ciarlo 2011. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

La sección del astil de todos los pernos es circular, al igual que la cabeza, que a grandes rasgos presenta dos variantes. En algunos casos, esta parte es ligeramente abovedada o plana, y tiene mayor diámetro que el astil. Los ejemplares de este tipo registrados muestran indicios de una leve deformación. En otros, aunque también es plana, presenta una circunferencia muy irregular y el diámetro es comparativamente menor. La cabeza de estos pernos está muy deformada y, en algunas zonas, aparece fracturada, debido a una tensión que sobrepasó localmente la resistencia del material. Es probable que ello haya ocurrido producto de los golpes que sufrieron las piezas durante la instancia de clavado (Fig. A.10.3).



FIGURA A.10.3 – DETALLES DE LOS PERNOS.

Cabeza y punta de algunos de los pernos recuperados: (a) cabeza circular y plana, sin deformación significativa (véase la Fig. A.10.2-c); (b) cabezas planas, muy deformadas (véase la Fig. A.10.2-d); (c) puntas redondeadas (pernos no pasantes).

Fotos: N. C. Ciarlo 2011. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

Las puntas también muestran diferencias, según el tipo de perno. Los más cortos poseen este extremo en forma de cuña, mientras que algunos de los medianos y largos (>200 mm) lo tienen redondeado. Los anteriores son pernos no pasantes. Los pernos que atravesaban los maderos que unían, en cambio, exhiben un astil cuya terminación es plana (véase la Fig. A.10.2). Esta punta iba remachada sobre una o dos arandelas (Fig. A.10.4). También es posible que algunos se encuentren quebrados, aunque por lo general resulta difícil precisarlo a simple vista.



FIGURA A.10.4 – PERNOS REMACHADOS SOBRE ARANDELA.

Pernos estructurales de cobre, remachados sobre una y dos arandelas circulares (a y b, respectivamente).

Fotos: CASC-MAC 2009. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Aquí analizamos dos de estos pernos, que se encontraron fragmentados. En un caso, se trata del segmento final del astil y la punta (perno No. 1); en el otro, de la cabeza y parte del astil (perno No. 2). Las dimensiones de uno y otro perno son las siguientes: 102,5 mm de largo y 19,5 mm de diámetro; y 120,6 mm de largo y 18,8 mm de diámetro, respectivamente. La punta del primer ejemplar indica que se

trata de un perno no pasante. La cabeza del segundo mide 25,2 mm de diámetro y es muy irregular, probablemente debido a los golpes sufridos durante su colocación. A nivel macroscópico, la superficie del perno presenta varias líneas que se extienden desde la cabeza, a lo largo del astil (véanse los pernos de la figura A.10.2-b). Teniendo en consideración que estas marcas nacen (o finalizan) en las zonas adonde la cabeza está entrecortada, en principio podemos suponer que en el conformado de los pernos se originaron tensiones, deformaciones o inicios de fracturas que luego se propagaron durante el clavado de los pernos a la estructura del casco (H. De Rosa, com. pers. 2015).¹

La punta del perno No. 1 presenta una microestructura monofásica de granos equiaxiales de tamaño regular, del color característico del cobre, con presencia de maclas de recocido y un volumen importante de inclusiones no metálicas. Algunas de estas son globulares, mientras que otras se encuentran ligeramente alargadas, y en conjunto muestran una alineación en el sentido del eje longitudinal del perno (Fig. A.10.5). Cabe resaltar que, en ciertos casos, las más largas se encuentran fracturadas (Fig. A.10.6).

El tamaño relativamente pequeño de los granos indica que la barra a partir de la cual se produjo el perno habría sido trabajada en frío y sometida a un proceso de recocido (al menos una vez), mientras que la condición fragmentada de algunas de las inclusiones permite afirmar que el perno fue ligeramente deformado en frío durante alguna etapa del proceso.² Esta evidencia es consistente con las opciones de trabajo del cobre en la época que nos ocupa (véase Harris 1966:558). Es probable que los pernos de cobre utilizados en su condición de trabajo en frío (durante la instancia final del conformado) tuvieran mejores prestaciones mecánicas respecto de aquellos elementos de sujeción utilizados en estado de recocido.

¹ Los pernos de cobre hallados en el *HMS Pandora* (1791) presentan marcas similares en los extremos y el astil (Campbell y Gesner 2000:54,56).

² Las inclusiones pudieron haberse quebrado durante la deformación en frío del perno, en alguna instancia del conformado, y permanecido de ese modo incluso luego del proceso de recristalización de la estructura (H. De Rosa, com. pers. 2015).

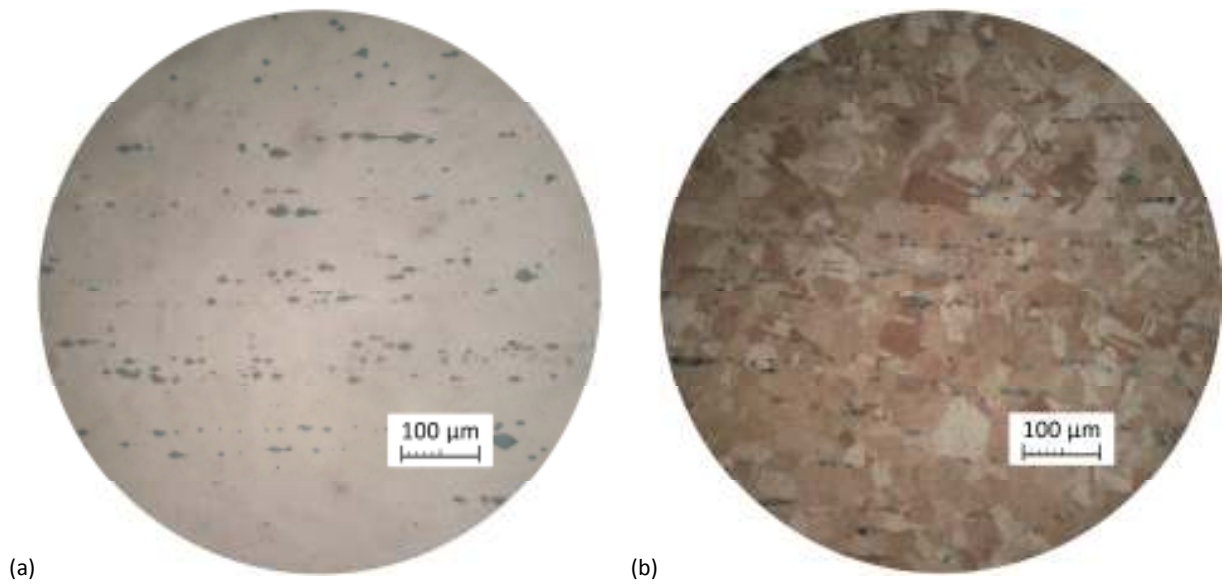


FIGURA A.10.5 – MICROESTRUCTURA DEL PERNO NO. 1.

Fotomicrografías de la punta del perno (corte longitudinal): (a) sin ataque, donde se muestra una alineación notablemente rectilínea de las inclusiones; (b) con ataque, donde se aprecian los granos equiaxiales y maclas de recocido.

Fotos: N. Ciarlo 2012.

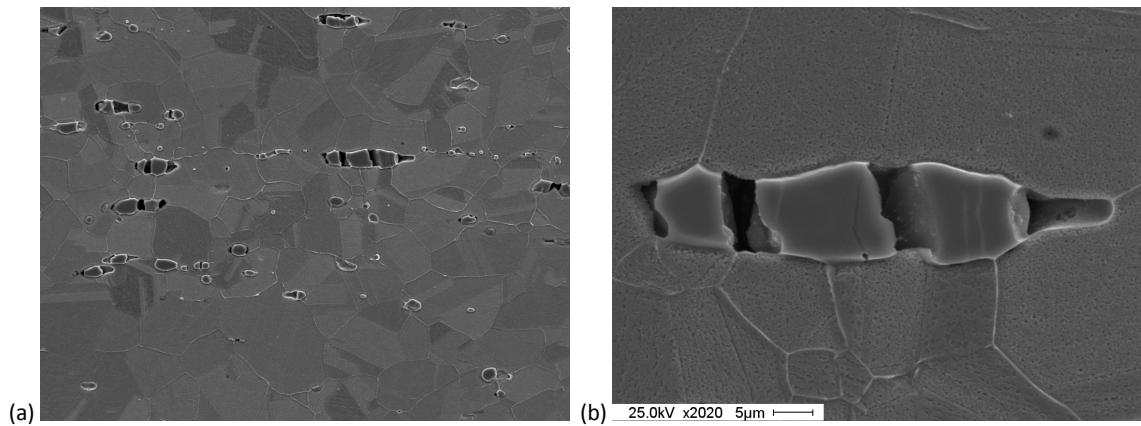


FIGURA A.10.6 – MICROESTRUCTURA DEL PERNO NO. 1.

Imágenes SEM del perno (corte longitudinal), en las que se observa la microestructura de granos equiaxiales, con maclas de recocido e inclusiones alargadas en el sentido del eje de la pieza: (a) punta; (b) detalle de una de las inclusiones quebradas, analizadas mediante EDS.

Imágenes: G. Maxia 2012. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

El estudio realizado mediante EDS en la punta y el astil indicaron que el perno fue hecho con cobre, sin alear (Fig. A.10.7). De acuerdo con su forma, coloración y el resultado del análisis puntual, las inclusiones son de óxido de cobre (Cu_2O).

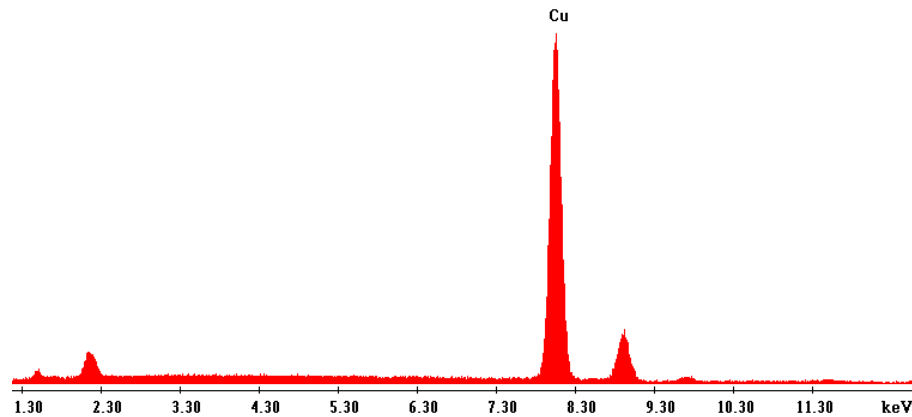


FIGURA A.10.7 – COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL PERNO NO. 1.

Espectro EDS del perno, correspondiente a un sector del astil.

Imagen: G. Maxia 2014. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

El análisis de EDS realizado sobre una porción del astil del perno No. 2 mostró una composición química semejante a la del perno No. 1. Ambas muestras fueron a su vez analizadas por medio de OES y AAS. Los datos de los elementos presentes están listados en la tabla A.10.2. La proporción del cobre y de los elementos minoritarios (impurezas) es similar en los dos pernos. Cabe resaltar el contenido de arsénico, en ambos casos próximo al 0,4 %. Tanto este elemento como el antimonio y el bismuto, pueden reaccionar con el óxido de cobre debido a que son desoxidantes, por lo que es probable que se encuentren parcialmente distribuidos bajo la forma de algunas de las inclusiones mencionadas. Con respecto a estas impurezas, Samuels notó que el arsénico incrementaba la dureza del cobre y, por ende, resultaba beneficioso en el caso de los pernos que durante la última instancia del proceso de manufactura eran trabajados en frío. Recordemos, a este respecto, que la presencia de inclusiones partidas es indicio de que el perno sufrió cierto grado de deformación en frío en alguna instancia del proceso de

manufactura. La composición registrada en las piezas del sitio Deltebre I es semejante a la que presentó este autor para el caso del astil de un perno de 1,2 m de lado, recuperado del *HMS Sirius*, 1790 (véase Samuels 1983: tabla 1).

Por otro lado, se obtuvo una sección del astil de cada uno de los pernos, a fin de llevar a cabo un ensayo de dureza. Las mediciones se efectuaron diametralmente, a lo largo de dos líneas perpendiculares. De este modo se registraron las variaciones de dureza entre el centro y la periferia de cada pieza. Esta información contribuyó al análisis del proceso de manufactura empleado. En la figura A.10.8 se muestran los resultados obtenidos. Amén de las diferencias entre un perno y otro (véase más abajo), en ambos casos la tendencia muestra un aumento de la dureza hacia la superficie.

Al respecto, cabe recordar que en 1783 William Forbes patentó un nuevo método para la fabricación de pernos y otros elementos de sujeción de cobre o base cobre, a partir del método patentado por Henry Cort, ese mismo año, para mejorar la calidad del hierro. A grandes rasgos, el procedimiento consistía en pasar una barra de aquel metal a través de un par de rodillos ranurados de tamaño sucesivamente menor (McCarthy 2005:105,106)³. Ciertas características microestructurales de las piezas así obtenidas pueden considerarse diagnósticas. A diferencia de lo que ocurre durante un proceso de martillado manual, debido a la reducción controlada de la sección mediante los rodillos, puede suponerse que los pernos exhiban escasa variación (o comparativamente menos abrupta) en los valores de dureza a lo largo de la sección. Asimismo, es esperable la presencia de granos de dimensiones regulares e inclusiones con una distribución y orientación más uniformes que en el caso de la producción manual. Teniendo en cuenta la época y procedencia del barco en cuestión, en principio es posible que los pernos utilizados para su construcción fueran del tipo obtenido mediante el método de Forbes, u otro semejante.

³ En el caso de los pernos de cobre puro, el proceso podía realizarse en caliente o en frío (Harris 1966: 555).

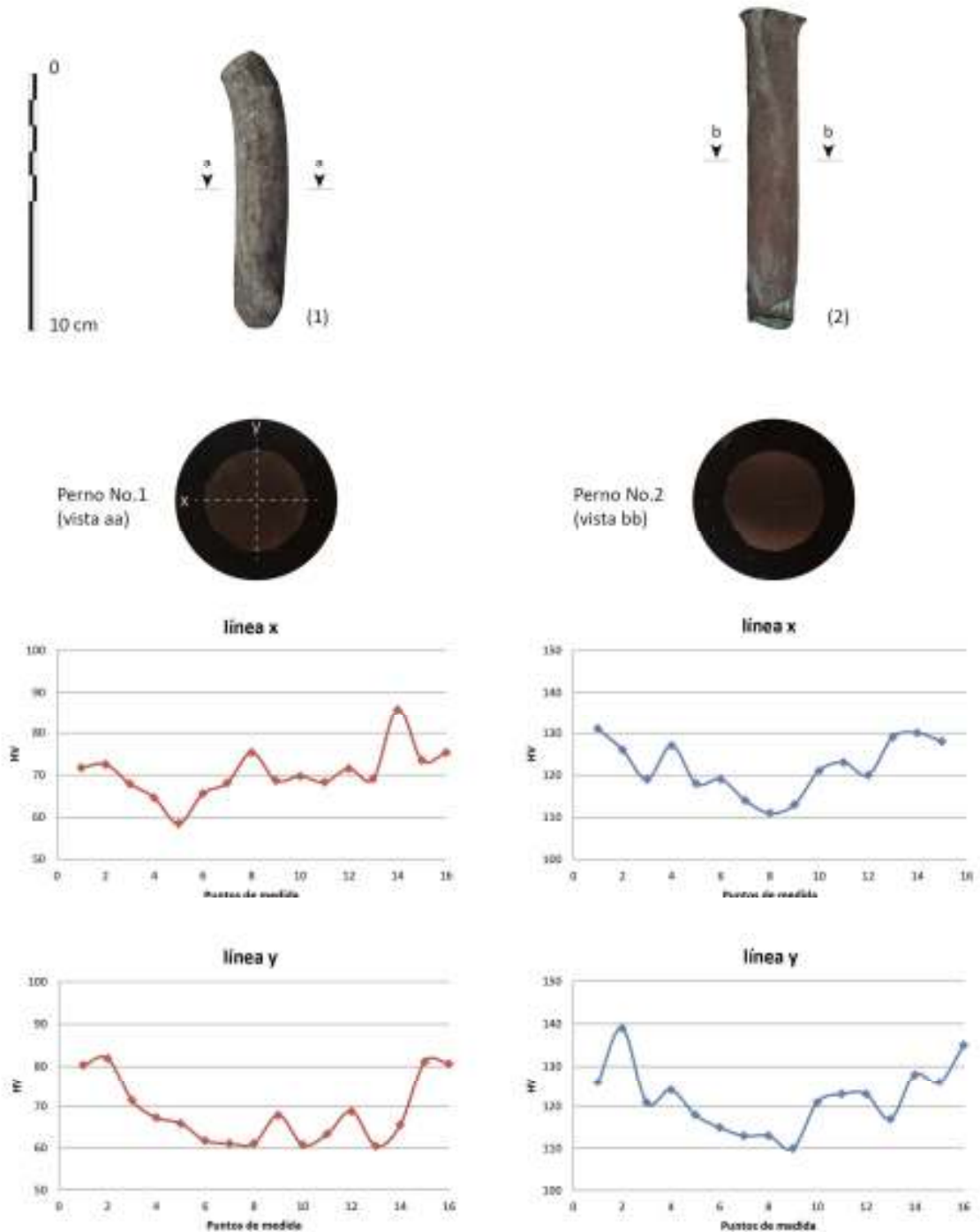


FIGURA A.10.8 – MEDICIONES DE DUREZA DE LOS PERNOS.

Ilustración de los pernos Nos. 1 y 2, junto con un detalle de las probetas sobre las que se midió la microdureza. Los gráficos muestran los valores obtenidos cada 700 μm , a lo largo de dos líneas (x – y) que cubren el diámetro del astil.

Imagen: N. Ciarlo 2014.

Un examen afín fue realizado tiempo atrás por Samuels, que estudió el perno ya referido. En función de las variaciones en los valores de dureza registradas a lo largo de la sección de la muestra, este autor concluyó que la reducción del diámetro de la barra empleada para fabricar el perno fue realizada por medio de martillado en frío (Samuels 1983:74,75).

En el caso del sitio Deltebre I, la dureza promedio de ambas piezas es muy diferente: en el perno No. 1 es ca. 70 HV, mientras que en el perno No. 2 es ca. 120 HV (los valores de las mediciones son similares en ambas direcciones). Dado que la composición química de los pernos es muy similar, en este caso el material empleado no puede ser considerado como factor causante de las discrepancias registradas. Podemos afirmar que el incremento de la dureza del perno No. 2, respecto del No. 1, responde a la mayor deformación sufrida por aquel durante el proceso de manufactura y/o a diferencias en las temperaturas o tiempos de recocido que sufrieron las piezas.⁴ Por otro lado, pese a estas diferencias, el rango de variación de la dureza es semejante en ambos casos (ca. 25 HV). La distribución de los valores indica que las barras con las que fueron confeccionados los pernos sufrieron una mayor deformación en la periferia que en el centro, donde la dureza es menor y más regular, y que fue de semejante tenor en ambos casos. Esta regularidad, así como las características microestructurales descritas (e.g. la notable alineación de las inclusiones), sugieren que el proceso de reducción de la sección de las barras de cobre fue llevado a cabo de forma controlada, probablemente mediante el uso de algún sistema de rodillos como el descrito más arriba. El examen metalográfico de la sección de ambos pernos permitirá contribuir a definir el método empleado.

Con relación a las arandelas utilizadas para asegurar los pernos por su extremo, mediante remachado de la punta, efectuamos un examen metalográfico preliminar de un ejemplar recuperado del sitio, procedente del sector Q9/10B (Fig. A.10.9-a). Este mide entre 39,3 y 40,8 mm de diámetro (externo) y 7,2 mm de espesor. El orificio interno mide 21,8 mm, lo que es coherente con el diámetro del astil de los pernos mencionados. La otra pieza posee dimensiones semejantes.

⁴ Según Samuels, valores de dureza entre 110 y 120 HV sugieren que el material sufrió una reducción de la sección del orden del 75% o más (Samuels 1983:74). En nuestro caso, la zona próxima a la superficie del perno No. 2 habría experimentado una reducción aún más acentuada durante la última etapa del conformado.

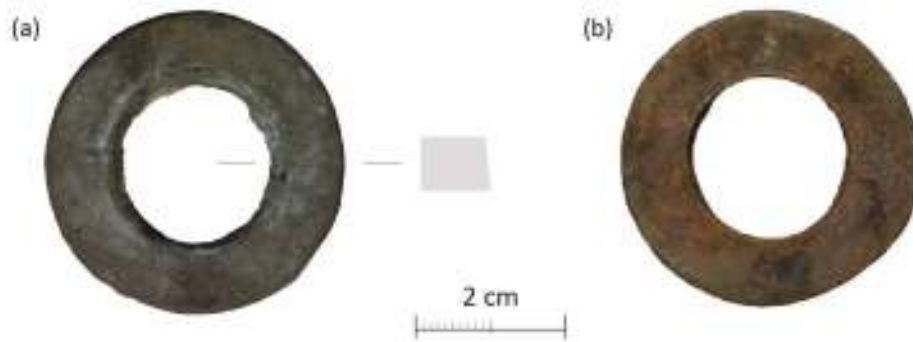


FIGURA A.10.9 – ARANDELAS CIRCULARES.

Arandelas utilizadas para asegurar los pernos de la estructura del barco, procedentes de los sectores Q9/10B y Q2/3B, respectivamente.

Fotos: N. Ciarlo 2011/13. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

La arandela estudiada exhibe una estructura de tipo dendrítico, con microsegregaciones y presencia de inclusiones en zona interdendrítica. Además, se observan poros, microporos y microrrechupes. Todo lo anterior es evidencia de un proceso de manufactura mediante fundición y colada del material. Respecto de este último, realizamos un análisis por medio de OES y AAS, que indicó la siguiente composición química: Cu 93,5 %, Zn 4,7 % y otros elementos en tenores por debajo del 1 % (véase la Tabla A.10.2).

Clavazón estructural

Vimos que los principales elementos de sujeción empleados para unir las diferentes ligazones de las cuadernas, así como las tablas del forro exterior e interior a estas últimas, fueron cabillas de madera. Por otro lado, los maderos que formaban el piso de la bodega presentan, de forma alternada con las cabillas, clavos de hierro (Vivar et al. 2014).

Además de los elementos ya referidos, en el sitio se localizaron varios clavos de aleación de cobre, del tipo empleado para la fijación de las tablas de forro o cubierta. En líneas generales, estos clavos poseen un astil de sección cuadrangular

y una cabeza plana, también de forma cuadrada. Se diferencian en dos tipos, según la morfología del astil y la punta. Unos muestran una disminución regular de la sección del astil a lo largo de toda su extensión (los cuatro lados son convergentes hacia la punta, del tipo diamante). Otros, en cambio, poseen dos lados paralelos y dos convergentes, y la punta tiene forma de pico de espátula. Las principales dimensiones, según se desprende del registro de algunos ejemplares en buenas condiciones de preservación, son las siguientes: los primeros miden ca. 200 mm de largo, tienen una cabeza de 17,5 mm de lado, y un astil cuya sección varía entre 10 x 10 mm (cerca de la cabeza) y 5 x 5 mm (cerca de la punta); los segundos, tienen un largo de ca. 135 mm; la cabeza mide ca. 15 mm de lado; y la sección del astil varía entre 9 x 9 mm y 8 x 5 mm. La punta de estos últimos mide 10,5 x 4 mm en su parte más ancha. Estas medidas son ligeramente diferentes, según la pieza considerada. Algunos clavos se encuentran quebrados a la altura de la mitad del astil (en ciertos casos es difícil precisar si se trata de los clavos con punta en diamante o en cuña). Un ejemplar completo y cinco clavos fragmentados fueron seleccionados para análisis metalográfico (Fig. A.10.10).

Los clavos con punta en forma de pico de espátula también fueron registrados en otros naufragios de la época (e.g. los clavos pequeños de aleación de cobre del *Triunfante*, utilizados para las planchas de forro de sacrificio). Este tipo de punta, como hemos mencionado, habría mejorado la capacidad de sujeción de los clavos a la madera (Fig. A.10.11). La ausencia de una punta de terminación aguda (en cuña) sugiere que para colocar estos clavos fue necesario perforar los maderos.

A nivel macroscópico, en muchos casos pueden apreciarse indicios de su manufactura. En la figura A.10.12 mostramos en detalle algunos sectores de la superficie de la cabeza y el astil del clavo, que exhiben porosidad. Esta evidencia indica que la pieza fue realizada mediante un proceso de fundición y colada en molde.

El análisis microestructural de la punta de dos de los clavos seleccionados (Fig. A.10.2-e,f) mostró una microestructura de tipo dendrítica, propia de un proceso de solidificación del material (Fig. A.10.13). Ambas muestras exhiben una importante cantidad de microporos y, en menor medida, microrrechupes, distribuidos de forma regular en todo su volumen.



FIGURA A.10.10 – CLAVOS DE SECCIÓN CUADRADA Y PUNTA CON FORMA DE PICO DE ESPÁTULA.

Conjunto de clavos tomados como muestra para análisis, del tipo empleado para fijar las tablas de forro.

Fotos: N. C. Ciarlo 2011/13. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

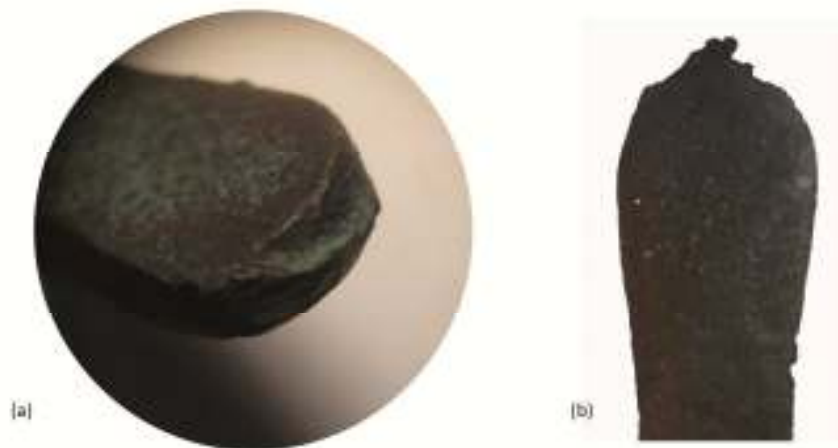


FIGURA A.10.11 – PUNTAS DE LOS CLAVOS ANALIZADOS.

Detalle de las puntas de los clavos con forma de pico de espátula: (a) con lupa binocular (Fig. A.10.2-f); (b) fotografía de la superficie de la muestra pulida (Fig. A.10.2-e).

Foto: N. C. Ciarlo 2012.

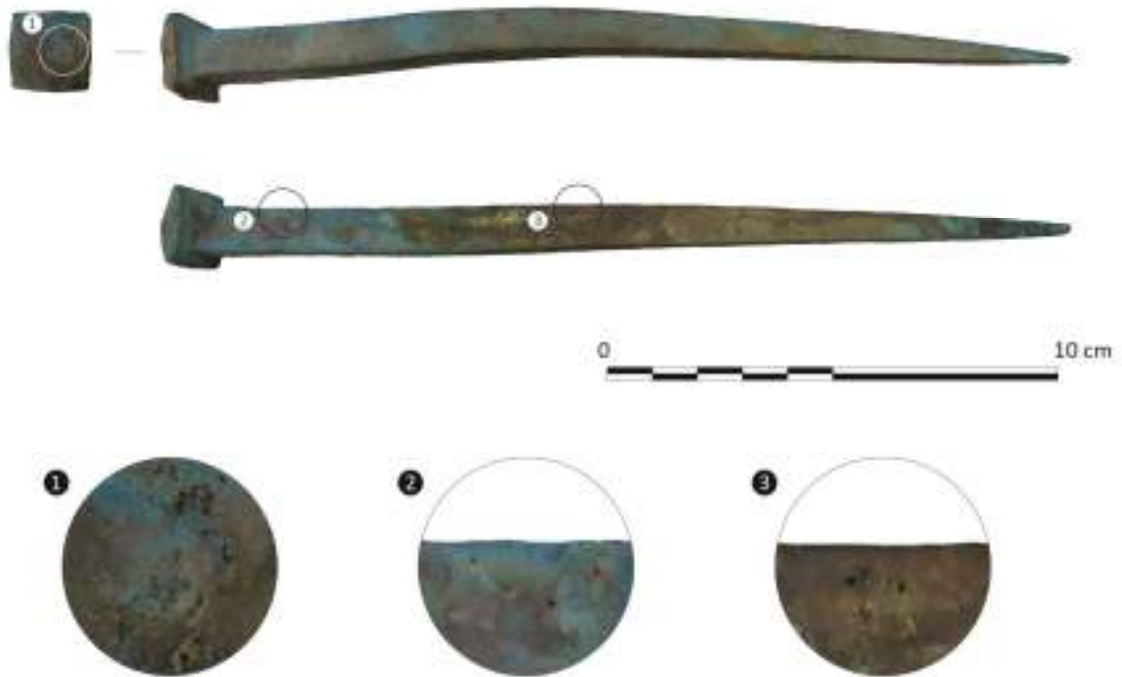


FIGURA A.10.12 – CLAVO DE SECCIÓN CUADRADA Y PUNTA AGUDA.

Vistas de uno de los clavos del tipo usado para la tablazón de forro, cuyo astil termina con forma puntiaguda. Los círculos 1, 2 y 3 muestran diferentes sectores de la superficie con huellas de porosidad.

Fotos: N. C. Ciarlo 2013. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

Según los resultados del análisis de EDS, los clavos fueron realizados con una aleación de cobre y otros elementos, en la siguiente proporción aproximada: Cu 89,5 %, Sn 5,5 % y Zn 5 %; y Cu 85 %, Sn 6,5 %, Zn 5 % y Pb 3,5 %, respectivamente (Fig. A.10.14). En este último, el plomo está segregado en los sectores interdendríticos. El astil de este clavo también fue analizado mediante AAS. Los valores registrados de estaño son consistentes con los datos obtenidos mediante EDS; en cambio, el contenido de zinc es ligeramente menor, mientras que el de plomo resultó mayor (véase la Tabla A.10.2).

Además de la clavazón de aleación de cobre, también se recuperaron varios ejemplares de hierro, de sección cuadrangular. Entre estos, seleccionamos tres clavos de diferentes dimensiones para análisis metalográfico. Las piezas en cuestión aún se encuentran en proceso de análisis.

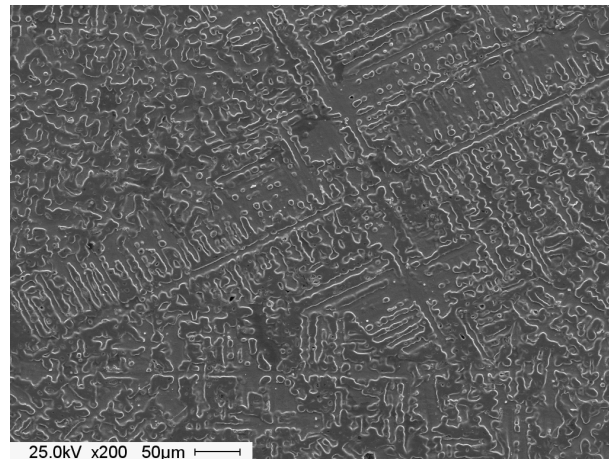


FIGURA A.10.13 – MICROESTRUCTURA DE UNO DE LOS CLAVOS.

Imagen SEM de la punta de uno de los clavos (Fig. A.10.2-f), en la que se aprecia la microestructura típica de un proceso de colada.

Imagen: G. Maxia 2012. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

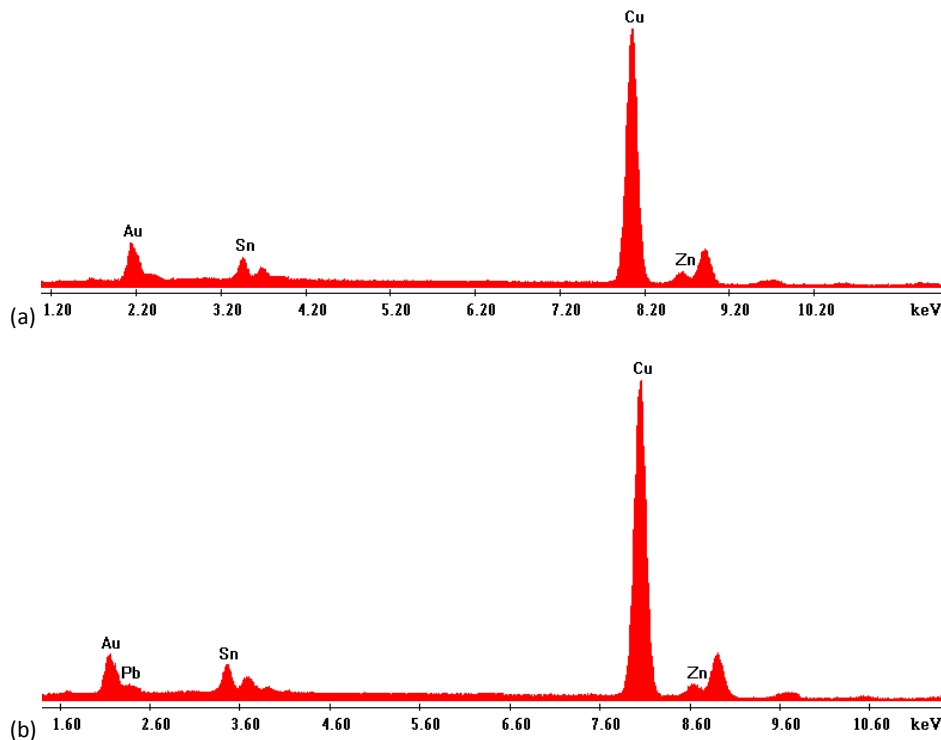


FIGURA A.10.14 – COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS CLAVOS.

Espectros EDS de los clavos ilustrados en la figura A.10.2 (e y f, respectivamente). El Au corresponde a la película de metalizado de la probeta.

Imagen: G. Maxia 2012. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

Clavos pequeños

En el sitio se hallaron varios clavos pequeños de aleación de cobre. A nivel morfológico, poseen una cabeza circular, plana; un astil de sección rectangular (dos lados paralelos y dos convergentes); y una punta con forma de cuña. Los clavos recuperados se encontraron sueltos, por lo que aún no podemos precisar si pertenecían a la estructura del barco o a algunos de los artefactos de madera del cargamento (e.g. las cajas de balas).

En la figura A.10.15 ilustramos uno de estos clavos, que fue seleccionado como muestra para análisis metalúrgico. Las dimensiones del ejemplar son las siguientes: 67,4 mm (largo); 13,7 x 12,5 mm (diámetro de la cabeza); y 7,3 x 7,3 mm, 5,6 x 4,3 mm, y 4,8 x 2,3 mm (sección del astil en su porción superior, media e inferior).



FIGURA A.10.15 – CLAVO PEQUEÑO.

Foto: N. Ciarlo 2011. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

La pieza presenta una microestructura de tipo dendrítico en toda su extensión (cabeza, astil y punta), con un alto contenido de inclusiones globulares, lo que evidencia un proceso de manufactura por medio de fundición y colada en molde. En la zona perimetral del clavo, las dendritas muestran una orientación de crecimiento perpendicular a la superficie; esta direccionalidad se pierde en el área

central de la pieza (Fig. A.10.16). A nivel microestructural, la pieza no presenta indicios de uso (e.g. deformación plástica cerca de la superficie de la cabeza, asociada al martillado durante el clavado). Aunque no se trata de una prueba concluyente, lo anterior nos permite suponer que este elemento de sujeción, al igual que otros objetos hallados en el barco, formaba parte de la carga.

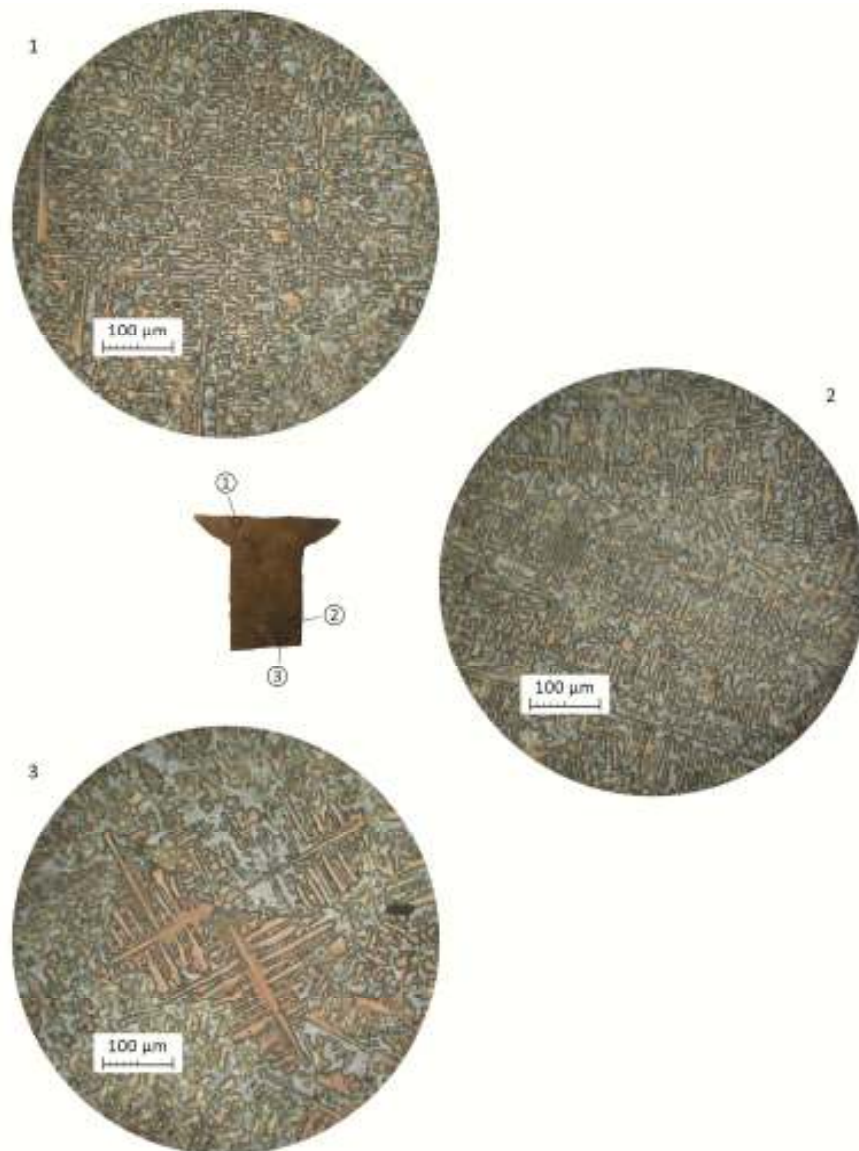


FIGURA A.10.16 – MICROESTRUCTURA DEL CLAVO.

Fotomicrografías de la microestructura de tipo dendrítico. En las zonas perimetrales del clavo (1, 2) el crecimiento de las dendritas presenta una clara orientación perpendicular a la superficie. Reactivo de ataque: NH_4OH , H_2O_2 , H_2O .

Fotos: N. Ciarlo 2012.

Por otro lado, tanto en la zona de la cabeza como en el astil se registraron rechupes y microrrechupes, producto del enfriamiento del material durante el proceso de colada (Fig. A.10.17).

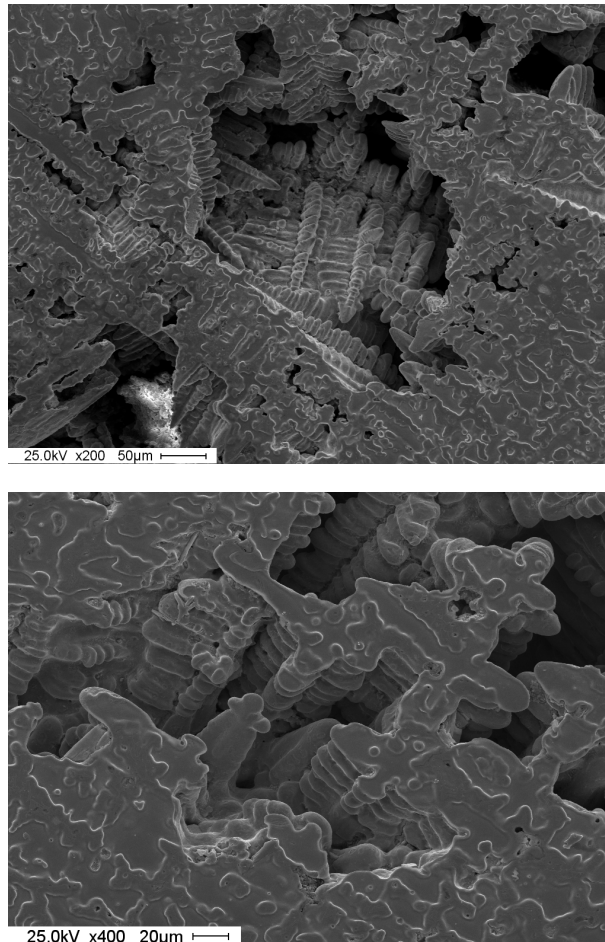


FIGURA A.10.17 – MICROESTRUCTURA DEL CLAVO.

Imágenes SEM de la cabeza del clavo, con 200 y 400 aumentos, adonde se observa el crecimiento de tipo dendrítico. Ambas corresponden a un sector en el que se generó un rechupe.

Imagen: G. Maxia 2012. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

El análisis de composición química mediante EDS, realizado en el sector de la cabeza, indicó que el material con el que fue confeccionado el clavo es una aleación ternaria de Cu 86,5 %, Zn 7,5 % y Sn 5,5 %. También se detectó hierro, por

debajo del 1 % (Fig. A.10.18). Posteriormente se realizó un análisis del astil por medio de OES y AAS. Con respecto a los elementos mayoritarios de la aleación de cobre, se obtuvieron los siguientes resultados: Zn 9,95 %, Sn 7,7 % y Pb 2,25 %. Además, la muestra presenta varios elementos en baja proporción, a saber: Fe 0,32 %, Sb 0,22 % y As 0,19 % (véase la Tabla A.10.2).

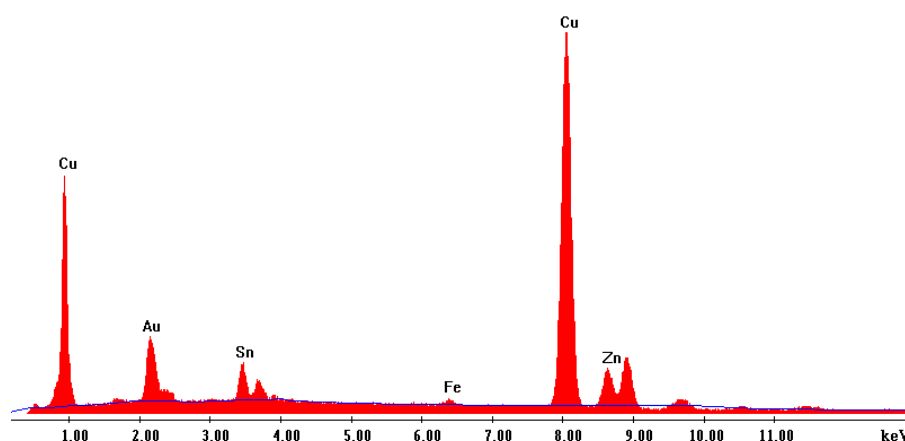


FIGURA A.10.18 – COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CLAVO.

Espectro EDS del clavo, correspondiente a un sector de la cabeza. El pico de Au corresponde al metalizado de la probeta.

Imagen: G. Maxia 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

Revestimiento del forro⁵

Tachuelas

Entre los objetos asociados a la carga, se recuperaron centenares de tachuelas para fijar las chapas del revestimiento de forro (un total de casi 10 kg). Aparecieron como un conjunto discreto en la bodega, sobre la banda de babor y a popa del palo mesana, por lo que es probable que estuvieran estibadas en una caja de madera u otro recipiente del que no se preservaron restos. Las piezas, que en su mayoría no

⁵ Los resultados descritos en este apartado fueron presentados en el *X Congreso Ibérico de Arqueometría* (Castellón, España, 2013) y enviados a publicación al *Journal of Archaeological Sciences: Reports* (Ciario et al. 2015).

presenta indicios de uso, pudieron estar destinadas a la realización de eventuales reparaciones menores en el propio barco en alguno de los otros que formaban parte de la expedición. En el capítulo 6 vimos que el revestimiento de una nave solía estar sujeto a periódicas reparaciones, por lo que los restos localizados en naufragios suelen estar relacionados con materiales de diferente procedencia. Al respecto, el sitio Deltebre I constituye un caso excepcional, dado que varios de los materiales allí hallados presentan especial interés para analizar ciertos aspectos tecnológicos en un lugar y momento particulares.

Sobre la base del relevamiento de las principales características morfológicas de las tachuelas, establecimos una primera distinción entre las piezas, que se clasificaron en los tipos I, II y III (Fig. A.10.19-a).

Macroscópicamente, ninguna de las tachuelas del tipo I presenta indicios de uso (e.g. punta redondeada, astil curvado, rotura de este último cerca de la cabeza), que en cambio sí suelen apreciarse en las piezas de otros sitios arqueológicos. Las dimensiones generales de los ejemplares en cuestión son: largo total ($35,3 \pm 1,2$ mm), diámetro de la cabeza ($13,7 \pm 1,3$ mm), sección del astil a la altura de la cabeza ($4,3 \times 4,3 \pm 0,3$ mm) y peso ($5,3 \pm 0,4$ g). Si se tiene en cuenta que las piezas eran descriptas según cantidad por unidad de peso, estas corresponderían a tachuelas producidas de a 95 por libra.⁶ Este valor es cercano al de las tachuelas utilizadas en el *HMS Victory* (1765 – presente) (Bugler 1966, en Staniforth 1985:30).

La mayoría de los ejemplares estudiados exhibe rastros del proceso de fabricación por colada en molde, tales como rebarba en el perímetro de la cabeza y evidencia del canal de colada, que por lo general se aprecia a uno o ambos lados de

⁶ A fin de estimar el número de tachuelas por unidad de peso, realizamos la medición de varios grupos al azar (cantidad por libra):

- Lote Q1/2B: 93 ejemplares (454 g).
- Lote Q1/2B: 97 ejemplares (455 g).
- Lote Q5/6B: 90 ejemplares (454 g).
- Lote Q8/9B: 95 ejemplares (455 g).
- Lote Q8/9B: 94 ejemplares (455 g).
- Lote sin identificación: 93 ejemplares (456 g).
- Lote sin identificación: 88 ejemplares (453 g).
- Lote sin identificación: 91 ejemplares (455 g).
- Lote sin identificación: 91 ejemplares (455 g).

Las discrepancias registradas pueden estar vinculadas con el estado diferencial de preservación de los ejemplares. Aquí consideramos un valor aproximado de 95.

esta última (Fig. A.10.19-b). En la mayoría de los casos, la posición del canal sugiere que el molde en que fueron hechas las tachuelas poseía múltiples cavidades colocadas en línea y unidas por dicho canal. Por otro lado, en el barco se encontraron algunas unidas a la altura de la cabeza (Fig. A.10.19-c), situación que contribuye a sostener que los ejemplares allí estibados todavía no habían sido utilizados.



FIGURA A.10.19 – TACHUELAS ASOCIADAS AL CARGAMENTO.

Clasificación de las tachuelas halladas en el sitio: (a) tipos I, II y III (de izquierda a derecha); (b) ejemplares del tipo I, con rastros del canal de colada (en la imagen de la derecha se aprecia, además, la rebaba de la cabeza); (c) par de tachuelas sin uso, unidas entre sí.

Fotos: N. Ciarlo 2013. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

Las tachuelas tipo II se diferencian de las del grupo anterior por su morfología: son ligeramente más cortas, el diámetro de la cabeza es más pequeño y la reducción de la sección del astil no es tan regular (véase la Fig. A.10.19). Además, algunas exhiben rastros de uso a nivel macroscópico; por caso, en los dos ejemplares analizados, el astil está doblado. Las dimensiones de las dos piezas analizadas, en promedio, son las siguientes: largo total ($33,3 \pm 1,1$ mm), diámetro de la cabeza ($11 \pm 0,4$ mm), sección del astil a la altura de la cabeza ($3,5 \times 3,5 \pm 0,7$ mm) y peso ($3,6 \pm 0,1$ g). En este caso, siguiendo el criterio de clasificación por peso, se trataría aproximadamente de tachuelas de a 125 por libra.

Los ejemplares del tipo III se identificaron como tachuelas dentadas (*jagged*, en inglés), a partir de una publicidad sobre clavos (de cobre sin alear) para revestimiento de forro, patentados por Samuel Guppy en Bristol (1806), donde se ilustran piezas de semejantes características (Jones, T. 2004:112). Los artefactos hallados en el sitio Deltebre I son sumamente escasos, por lo que se estima que no habrían formado parte del cargamento. Cabe notar que estas piezas presentan una letra *P* en el sector superior del astil, que puede estar asociada al nombre del productor o a alguna de las instalaciones de la Armada (e.g. el taller de laminación del astillero naval de Portsmouth [*Admiralty's Portsmouth Dockyard Rolling Mill*]) (Fig. A.10.20).⁷

Un total de 25 piezas fueron seccionadas axialmente, a fin de realizar un análisis de composición química mediante EDS. Teniendo en consideración que la mayoría corresponde al tipo I, el estudio de caracterización se centró en estas últimas. A fines comparativos, entre las piezas analizadas se consideró un par de aquellas catalogadas como tipo II. La superficie fue desbastada con papeles abrasivos hasta una granulometría de 1000. En el caso de las tachuelas que yacen unidas, únicamente se desbastó el astil, desde la punta hasta una altura próxima al recazo. En la tabla A.10.3 exponemos los resultados obtenidos.

Para determinar la variabilidad existente con relación a la composición de las tachuelas, se realizó un análisis estadístico (multivariado) de los datos mediante el

⁷ La aplicación de marcas de fabricación (e.g. nombre del productor o año de patente) en pernos y clavos de dimensiones considerables era una práctica habitual en aquella época. Los principales contratistas de la Armada Británica acordaron cumplir con esta condición, a fin de que la calidad de sus productos pudiera ser chequeada (véase el capítulo 6).

programa de libre acceso *PAST, PAleontological STatistics 2.7* (Hammer *et al.* 2001).⁸ Se tuvieron en consideración tanto los elementos mayoritarios como minoritarios, algunos de los cuales pudieron incorporarse intencionalmente, a fin de evaluar la calidad de los materiales (e.g. impurezas propias del mineral o del proceso de manufactura) y de la producción en serie (e.g. heterogeneidad de las aleaciones utilizadas).

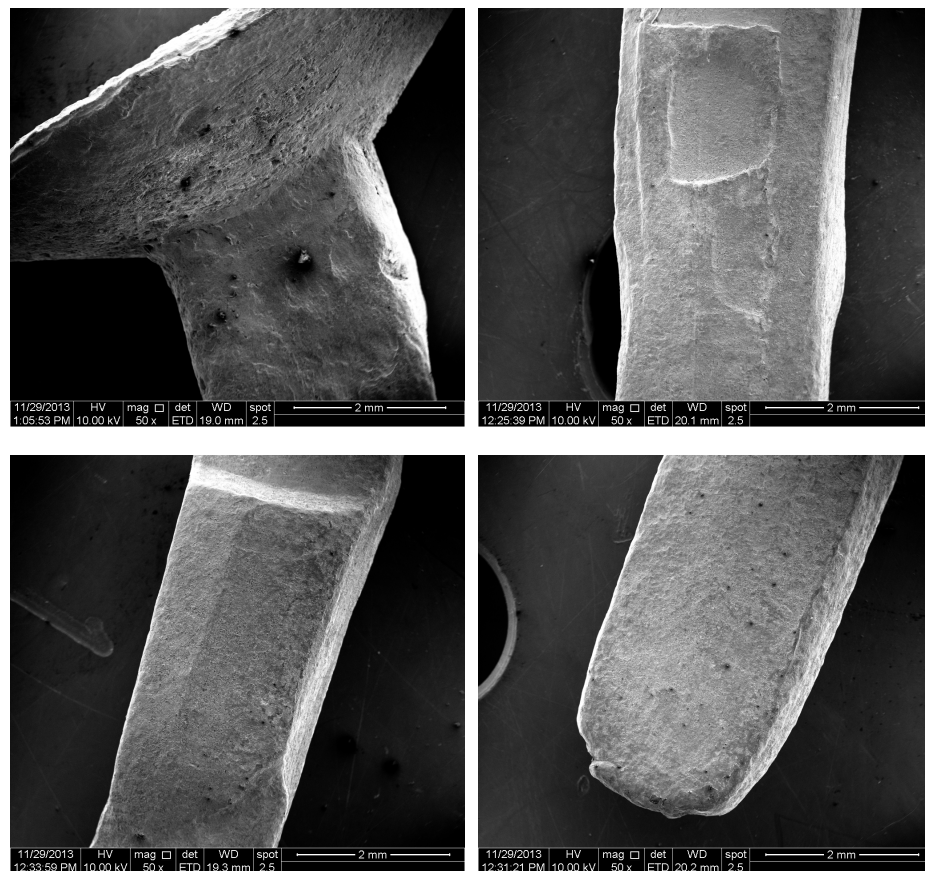


FIGURA A.10.20 – TACHUELA TIPO III.

Imágenes SEM con 50 aumentos de diferentes partes de una de las tachuelas tipo III. Nótese la letra *P* en el cuadro de arriba a la derecha.

Imágenes: M. Pianetti 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

⁸ Agradezco especialmente a la Ing. Nora Schicchi, que se ocupó desinteresadamente de realizar el procesamiento estadístico de los datos obtenidos mediante EDS.

En primer lugar, se evaluó la dispersión de los diferentes elementos en los distintos puntos de cada una de las tachuelas. Para ello, se calculó el coeficiente de variación (CV) de cada elemento entre las n réplicas de una misma pieza. Del cálculo anterior se observó que los constituyentes principales de la aleación presentan escasa variabilidad a lo largo del astil, a saber (en promedio): Cu 0,3 % y Sn 2,4 %. Asimismo, en el caso de otros elementos considerados (Pb, Zn y Fe) los valores del CV son relativamente bajos (ca. 10 %). Lo anterior es indicativo de la buena homogeneidad al interior de cada una de las tachuelas y, por extensión, de la colada que se utilizó para su elaboración.

Para establecer la posible correlación entre los elementos presentes (Cu, Sn, Zn, Pb y Fe) y facilitar el análisis utilizando la menor cantidad de variables, se aplicó el método de componentes principales. Según los autovalores calculados, las dos primeras componentes (CP1 y CP2) dan cuenta del 87,3 % de la varianza del sistema, cifra que alcanza el 96,8 % si se considera el componente CP3. La elipse de confianza (95 %) de la distribución bivariada (CP1 y CP2) indica que ésta es representativa de casi la totalidad de los datos. Quedan por fuera del modelo únicamente la tacha No. 20 y una de las réplicas de la tacha No. 24. En la figura A.10.21 se representan las cinco variables originales en función de los nuevos ejes (CP1 y CP2). En líneas generales, las tachuelas con alto contenido de cobre exhiben valores de CP2 negativos; las piezas con contenidos elevados de plomo y estaño se ubican en el 1° cuadrante; mientras que el 2° cuadrante representa aquellos ejemplares con mayor contenido de estaño y hierro.

Con el fin de distinguir el grado de semejanza que guardan entre sí las tachuelas (homogeneidad de la composición entre las piezas), se elaboró un dendrograma jerárquico (Fig. A.10.22). Las distancias se calcularon mediante el modelo de Ward. Con este algoritmo, la unión de los grupos se obtiene minimizando la variabilidad resultante, aspecto que fue de interés para analizar la producción de piezas en grandes cantidades. De este modo, las tachuelas se concentraron en dos grupos (A y B) y, cada uno de éstos, en dos subgrupos (a_1 , a_2 , b_1 y b_2). Las muestras de la rama A corresponden a las que se ubican en los cuadrantes 1 y 4 del gráfico CP1 vs CP2, mientras que las de la rama B a aquellas que se disponen en los cuadrantes 2 y 3 (véase la Fig. A.10.21).

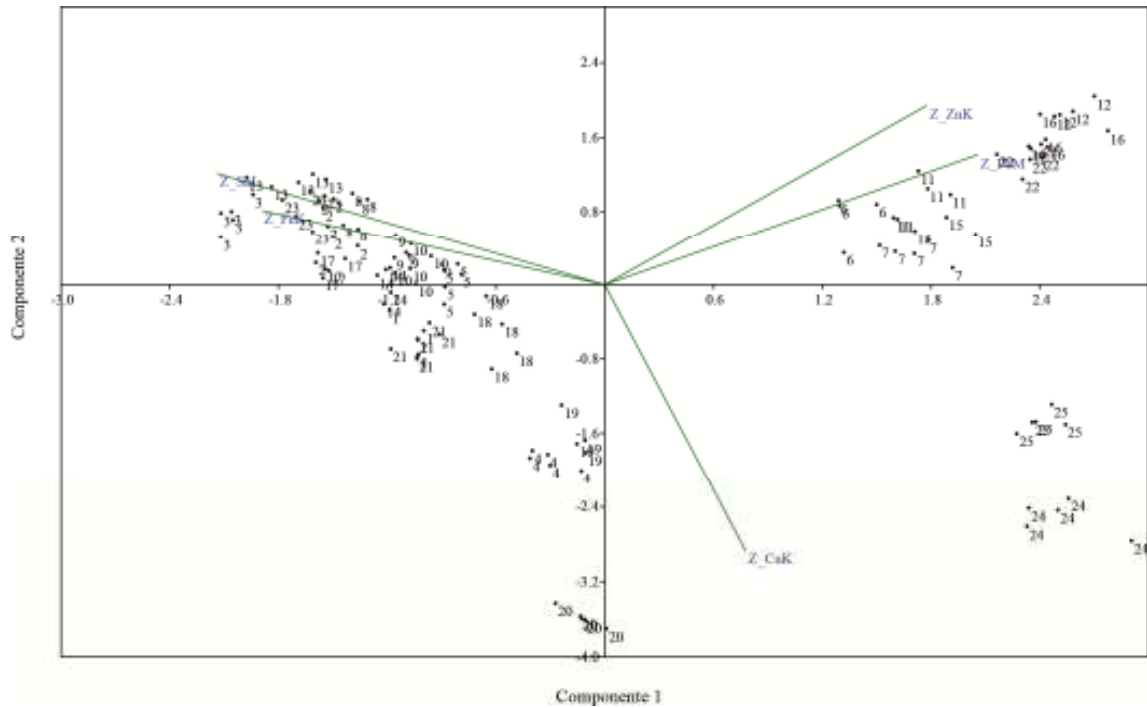


FIGURA A.10.21 – DIAGRAMA DE CARGAS PARA LAS VARIABLES ORIGINALES EN EL SISTEMA CP1 VS CP2.

Gráfico: N. Schicchi 2013. Reproducción autorizada, cortesía de la autora.

Merece especial atención el intercalado que muestran en algunos casos las réplicas de distintas tachuelas (e.g. Nos. 6, 7, 11 y 15; o Nos. 2 y 23). Ello indica que no es posible establecer una diferencia de composición significativa entre éstas, debido probablemente a que pertenecían a la misma colada de material o, incluso, al mismo molde. Esto último, si bien es más difícil de establecer, está representado de manera inequívoca por el caso de los ejemplares Nos. 9 y 10 (las tachuelas que se encuentran unidas). Si se considera el análisis de componentes principales junto con la correspondencia tachuelas-grupos obtenida del dendrograma jerárquico, se obtiene una nueva clasificación en cuatro grupos (Tabla A.10.4), los cuales exhiben características distintivas con respecto a su composición (Tabla A.10.5).

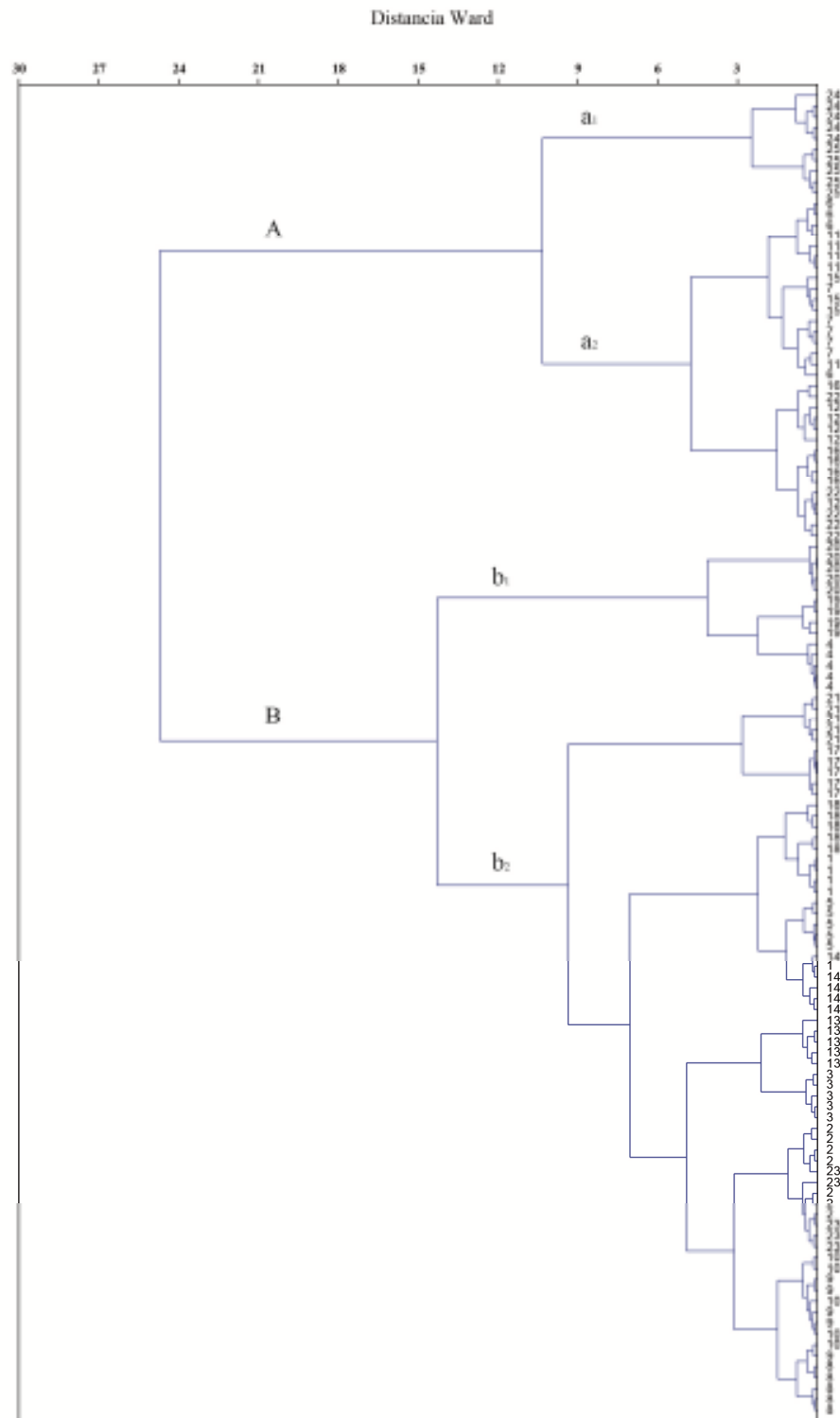


FIGURA A.10.22 – DENDROGRAMA BASADO EN EL MÉTODO DE WARD.

En este dendrograma jerárquico se aprecian los grupos que conforman, según los datos de composición, las 25 tachuelas analizadas.

Gráfico: N. Schicchi 2013. Reproducción autorizada, cortesía de la autora.

Las tachuelas agrupadas en a_1 y b_1 poseen los valores más altos de cobre, mientras que las mayores concentraciones de estaño (el aleante principal del cobre) se identificaron en a_2 y b_2 , principalmente en este último. Con relación al plomo y el zinc, que pudieron ser agregados *ex profeso* con distintos fines (e.g. bajar la temperatura de fusión, mejorar la colabilidad de la aleación o aumentar la resistencia a la corrosión del producto obtenido), los tenores más elevados se encuentran en los subgrupos a_1 y a_2 . Al respecto, cabe destacar la ausencia de estos dos elementos en la tachuela No. 20 (b_1). El hierro, considerado como una impureza, vinculada a uno de los otros aleantes o incorporada accidentalmente durante el proceso de manufactura, presenta concentraciones semejantes en los conjuntos a_1 , a_2 y b_1 , y mayores tenores en las tachuelas clasificadas como b_2 . En la figura A.10.23 se aprecian los cuatro subgrupos en función de la relación de los principales elementos constituyentes de la aleación (cobre-estaño), diferenciación que se mantiene al considerar la relación estaño-plomo.

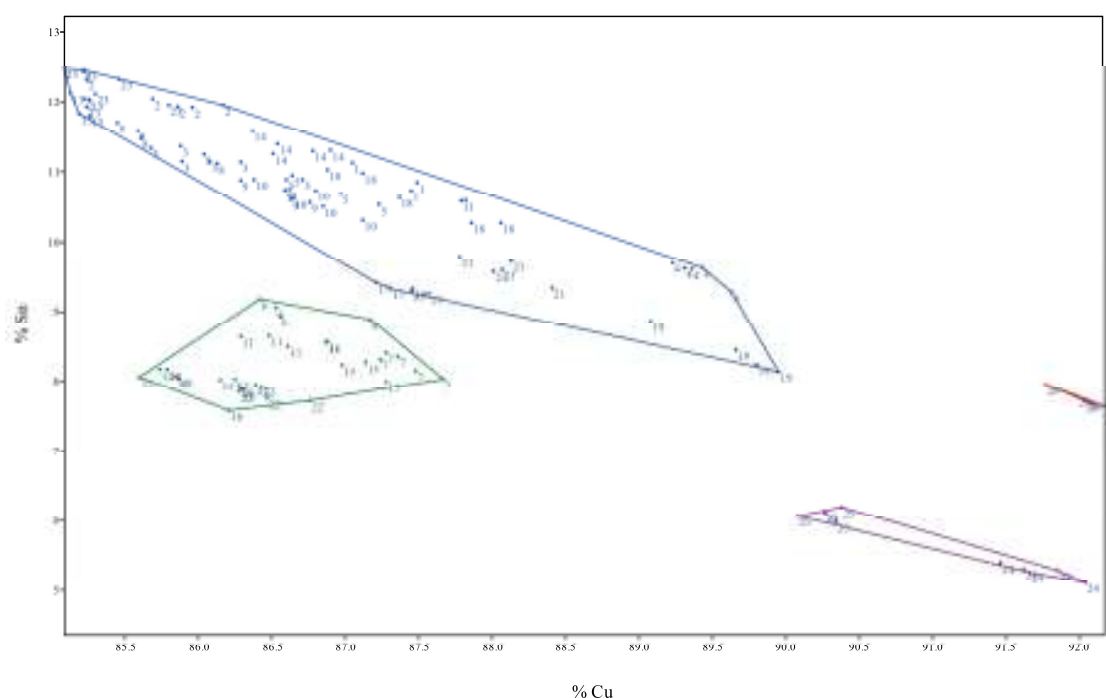


FIGURA A.10.23 – AGRUPACIÓN DE LAS TACHUELAS.

Agrupación de las tachuelas, según la relación entre los elementos mayoritarios presentes (Cu y Sn).

Gráfico: N. Schicchi 2013. Reproducción autorizada, cortesía de la autora.

A fin de evaluar la posible intencionalidad en el uso diferencial de los materiales, se calculó la temperatura del *liquidus* de la aleación de cada subgrupo de tachuelas. Para ello, se utilizó el programa *Thermo-Calc 3.0*, mediante el empleo de dos bases de datos termodinámicas (*SGTE Solutions Database*, v. 5, y *TCS Solder Alloy Solutions Database*, v. 1).⁹ Las aleaciones de los subgrupos a_1 y b_2 muestran el contraste más amplio, en torno a los 50° C (ca. 1.030° C y ca. 980° C, respectivamente). Los valores de temperatura registrados sugieren que el uso de diferentes aleaciones de cobre no habría tenido consecuencias significativas en cuanto a la disminución del punto de fusión de la materia prima utilizada.

Cabe destacar que las dos tachuelas del subgrupo a_1 corresponden a las piezas inicialmente adscriptas, según su forma, al tipo II. Estos ejemplares aparecen claramente diferenciados del resto de las tachuelas. En función de lo presentado anteriormente, se estima que la división en subgrupos establecida entre las piezas clasificadas como tipo I, que son morfológicamente semejantes entre sí, estaría relacionada en gran medida con la existencia de distintos lotes de producción.

Con relación a las tachuelas del tipo III, los análisis de EDS llevados a cabo en varios sectores de la cabeza y el astil indicaron que la pieza fue hecha con cobre sin alear (Fig. A.10.24). Lo anterior es consistente con la información acerca de los productos comercializados por Guppy.

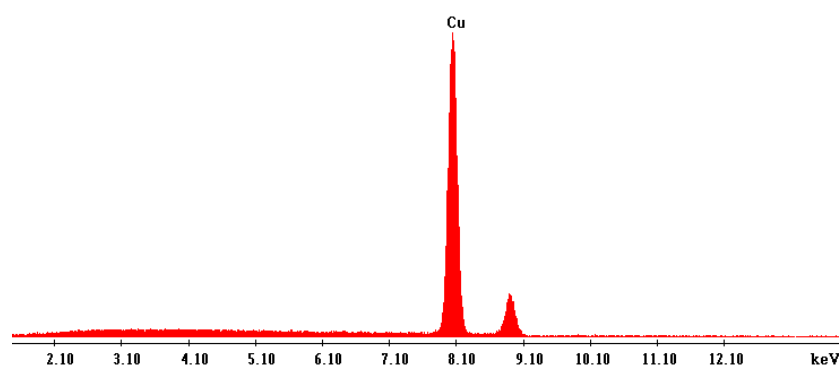


FIGURA A.10.24 – ESPECTRO EDS DE LA TACHUELA DENTADA (TIPO III).

Imagen: G. Maxia 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

⁹ La estimación de temperatura del líquido de las diferentes aleaciones fue proporcionada por Johan Bratberg, de la empresa Thermo-Calc Software AB (Estocolmo, Suecia).

Por otro lado, algunas tachuelas se examinaron por medio de metalografía, a fin de apreciar las características microestructurales de los grupos referidos. Las muestras fueron incluidas en frío y pulidas con alúmina hasta una granulometría de 0,05 μm . Las piezas así preparadas, observadas a ojo desnudo, muestran indicios de porosidad, producto de la manufactura (Fig. A.10.25).

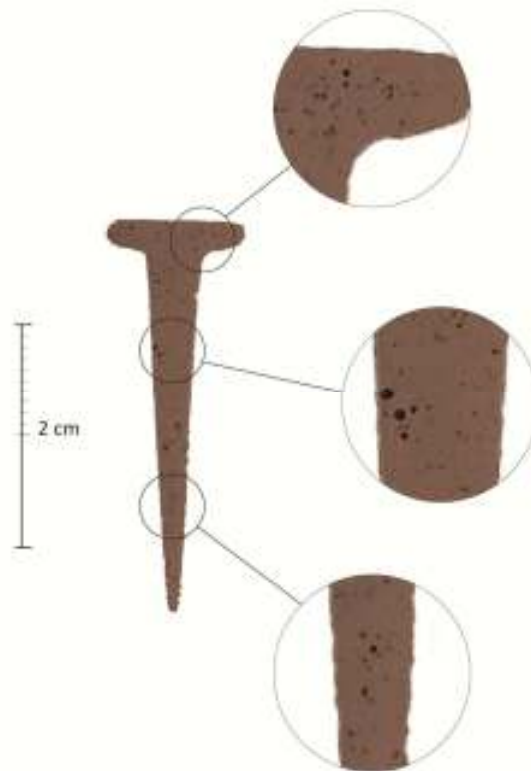


FIGURA A.10.25 – CORTE LONGITUDINAL DE UNA DE LAS TACHUELAS.

En la superficie pulida de la probeta (muestra Q5/6B M3) se pueden apreciar los poros presentes en el material (detalles al 300 %).

Foto: N. Ciarlo 2013.

A nivel microestructural, las tachuelas tipo I y II presentan similares características. En todos los casos, las observaciones realizadas en la cabeza, el astil y la punta de las piezas, por medio de LM y SEM revelaron una morfología dendrítica (Figs. A.10.26 y A.10.27). Como dijimos, lo anterior es indicio de un proceso de solidificación del material típico de una manufactura mediante colada.

En relación con este proceso, se detectó la presencia de microrrechupes y poros, en cantidades y tamaños variables (Fig. A.10.28). Con respecto a la distribución de los poros, en algunas piezas se ubican preferiblemente sobre el costado (en coincidencia con la pared del molde).

En el caso de la muestra Q1/2B M4, a partir del análisis de EDS se identificaron dos tipos de partículas de otras fases; unas de sulfuro y otras ricas en plomo (Fig. A.10.29). Este tipo de inclusiones también fueron observadas, en proporciones desiguales, en otras tachuelas analizadas por medio de microscopía óptica.



FIGURA A.10.26 – MICROESTRUCTURA DE UNA TACHUELA TIPO I.

Fotomicrografías de los diferentes sectores de la tachuela Q8/9B M11. Reactivo de ataque: NH_4OH , H_2O_2 , H_2O .

Fotos: N. Ciarlo 2012.

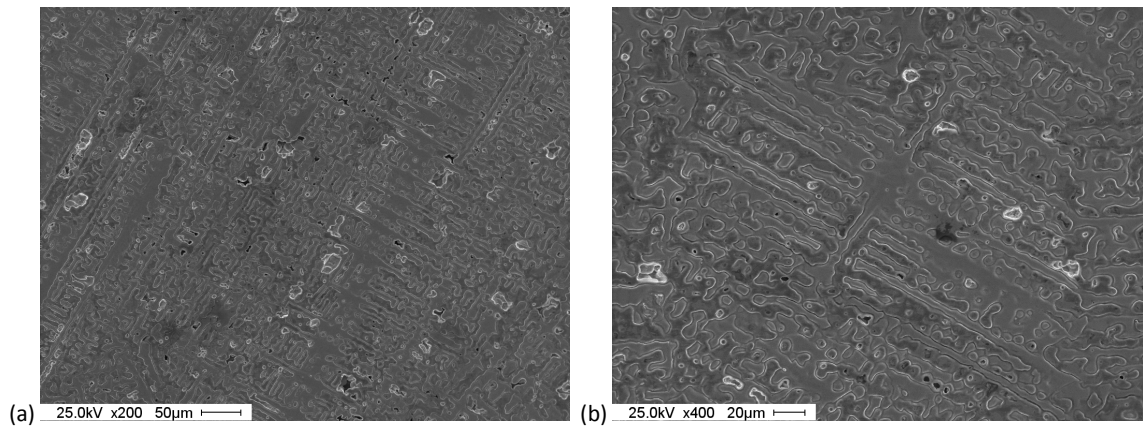


FIGURA A.10.27 – MICROESTRUCTURA DE LA TACHUELA Q8/9B M11.

Imágenes SEM de la muestra ilustrada en la figura previa, en la que se aprecia la microestructura de tipo dendrítica: (a) cabeza; (b) astil.

Imágenes: G. Maxia 2012. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

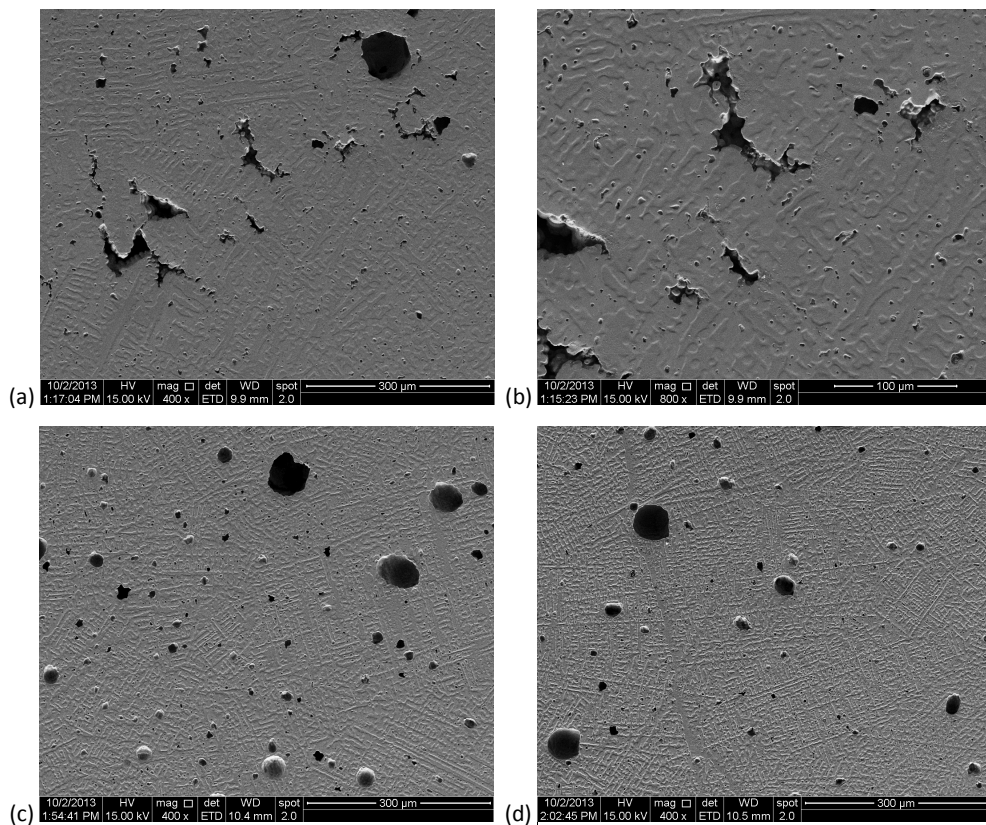


FIGURA A.10.28 – MICROESTRUCTURA DE UNA DE LAS TACHUELAS.

Imágenes SEM de la muestra Q1/2B M4, en la que se aprecia la microestructura de tipo dendrítica, microrrechupes y poros: (a y b) cabeza; (c y d) astil.

Imágenes: M. Pianetti 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

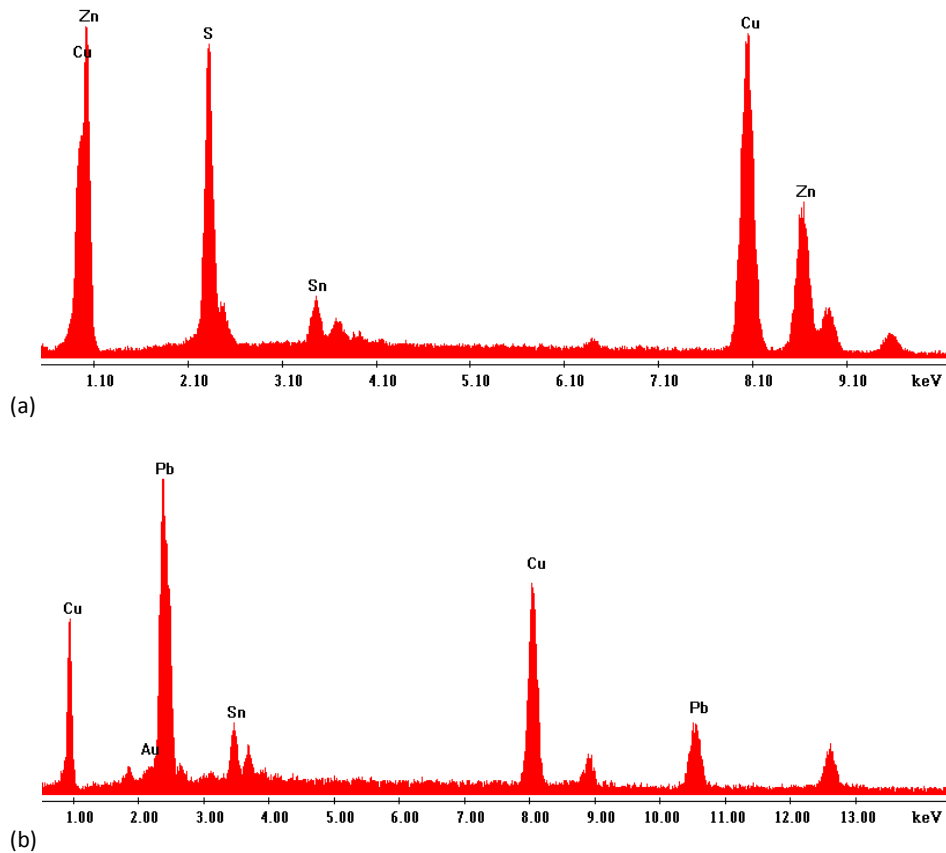


FIGURA A.10.29 – COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS INCLUSIONES.

Espectros EDS de dos tipos de inclusiones registradas en la muestra Q1/2B M4: (a) de sulfuro; (b) ricas en plomo.

Imágenes: G. Maxia 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

En el caso de las tachuelas Q1/2B M1 y Q8/9B M5, realizamos una observación de la parte superior de la cabeza, en la zona del canal de colada, a fin de determinar si presentaba diferencias con respecto al resto de la microestructura. De resultas, más allá de la existencia de ciertas discrepancias entre las tachuelas con relación a la cantidad de inclusiones, microrrechupes y poros, en ningún caso se percibieron diferencias significativas entre una zona y otra (Fig. A.10.30).

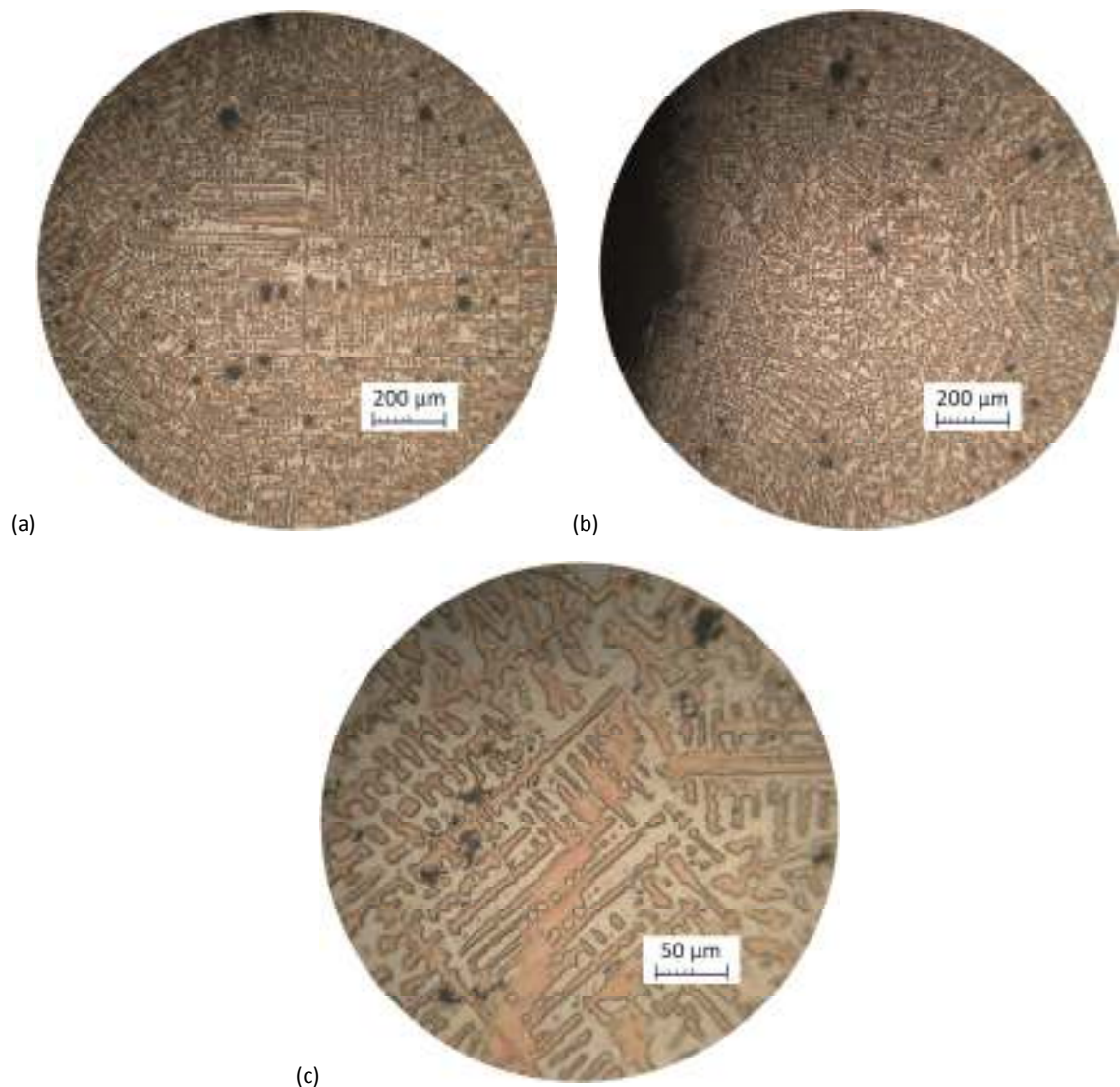


FIGURA A.10.30 – MICROESTRUCTURA DE LA CABEZA DE UNA TACHUELA TIPO I.

Fotomicrografías de la zona superior de la cabeza de la tachuela Q1/2B M1: (a) zona central; (b) zona del canal de colada, semejante a la anterior; (c) detalle de la microestructura dendrítica. Reactivo de ataque: NH_4OH , H_2O_2 , H_2O .

Fotos: H. De Rosa 2013.

Con relación a las evidencias microestructurales de uso, cabe mencionar el trabajo de Samuels sobre los elementos de fijación del sitio *HMS Sirius* (1790), en el que analizó una de las tachuelas del barco. La estructura de la pieza muestra indicios de deformación plástica (bandas de deslizamiento [*strain marks*]) en la cabeza, que decrecen en frecuencia hacia la punta. A su vez, la dureza disminuye

paulatinamente en el mismo sentido (desde 150 hasta 85 HV). Ello evidencia que la tachuela en cuestión fue utilizada (Samuels 1983:77, figura 8). En el caso de los ejemplares del sitio Deltebre I, las tachuelas tipo I presentan una estructura de solidificación sin rastros de modificación termo-mecánica posterior. El ejemplar correspondiente al tipo II, en cambio, muestra algunos signos de deformación en la punta y la cabeza (Fig. A.10.31). Esto último es consistente con las evidencias macroscópicas descritas anteriormente.

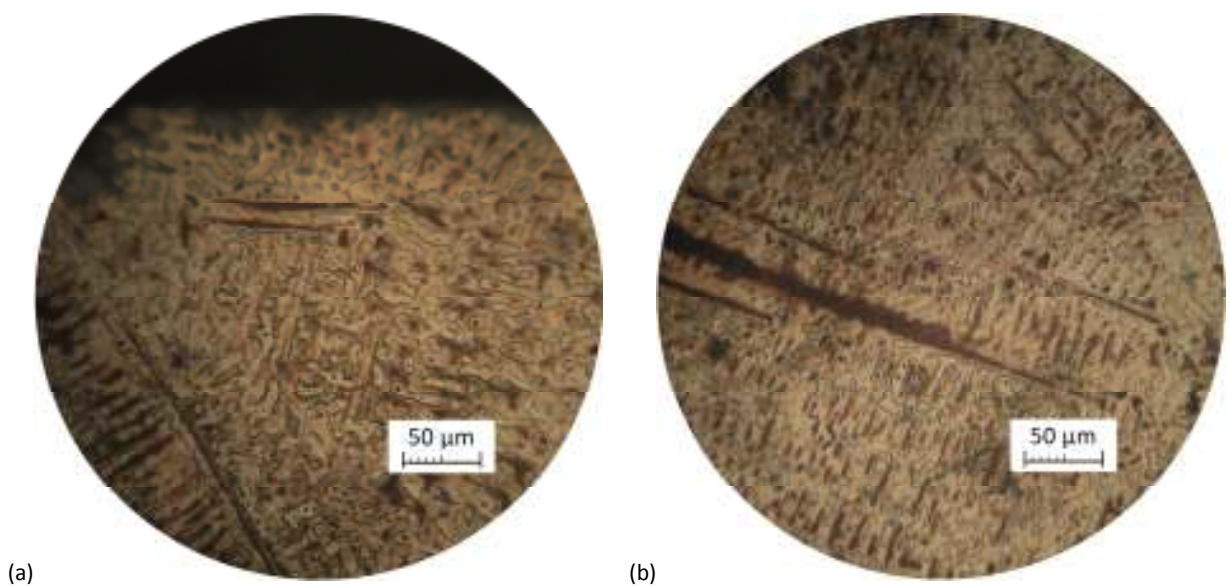


FIGURA A.10.31 – MICROESTRUCTURA DE LA CABEZA DE UNA TACHUELA TIPO II.

Fotomicrografías de dos sectores de la cabeza de la muestra Q8/9B M6, en las que se aprecian bandas de deslizamiento (evidencia de deformación). Reactivo de ataque: NH_4OH , H_2O_2 , H_2O .

Fotos: N. Ciarlo 2013.

Artillería

Cañón de bronce

Este cañón, como vimos, se extrajo en la primera campaña del CASC en el sitio, durante las tareas de evaluación inicial de los restos, debido al riesgo de expolio (Vivar et al. 2014). Se trata de una pieza de 6 libras y 152,5 + 12,5 cm de largo, en muy buenas condiciones de preservación. Este cañón, como era habitual para el

caso de las piezas de artillería de bronce de la época, exhibe una serie de inscripciones superficiales. A continuación describimos las marcas registradas, según el orden que aparece en la figura A.10.32:

1. El tercer cuerpo o caña de la pieza luce el escudo del Consejo de Artillería (*Board of Ordnance*). El cinto coronado lleva el lema *HONI SOIT QUI MAL Y PENSE* (Que la vergüenza caiga sobre aquel que piense mal de ello). La letra C, en el centro del escudo, corresponde a la inicial del título nobiliario de Charles Cornwallis, Primer Marqués Cornwallis (1738-1805) (Fig. A.10.33). Este militar y diplomático británico participó activamente de varios de los conflictos armados de la segunda mitad del siglo XVIII y fue responsable de la administración de la artillería británica (*Master General of the Ordnance*) entre 1795 y 1801 (véase www.artilleryhistory.org/artillery).
2. La segunda faja contiene en un recuadro el número romano *DXXXV* (525). Hasta la fecha no hemos podido precisar a qué refiere esta marca.
3. En la cara de uno de los muñones se lee *Nº 624*. Esta cifra corresponde probablemente al número de serie del cañón (de fábrica, para cierto año).
4. La primera faja tiene la inscripción *I^o & H^y KING 1798*. Este dato está relacionado con la manufactura del cañón. Las letras corresponden al nombre de la firma (compañía) responsable de la manufactura, mientras que la fecha alude al año de fundición. Las iniciales *I^o* y *H^y* corresponden a los nombres de los hermanos John y Henry King, fundidores de la Royal Brass Factory (desde 1784). John se convirtió en maestro fundidor en 1797 y falleció en 1813, cuando su hermano menor Henry lo sucedió en el cargo. Ambos nombres suelen aparecer juntos en los cañones de su autoría, producidos hasta el año de la muerte de John. A partir de entonces, Henry sumó el nombre de su sobrino, Cornelius. Varios cañones y morteros producidos por John y Henry forman parte de la colección del Palacio Real y Fortaleza de su Majestad británica (*Tower of London*), así como de otras fuera de Inglaterra (Kennard 1986:98).¹⁰

¹⁰ La información sobre los fundidores John y Henry King fue gentilmente suministrada por el Dr. Chuck Meide, director de Lighthouse Archaeological Maritime Program (St. Augustine Lighthouse & Museum, St. Augustine, Florida, EE.UU.), a quien agradezco su ayuda.

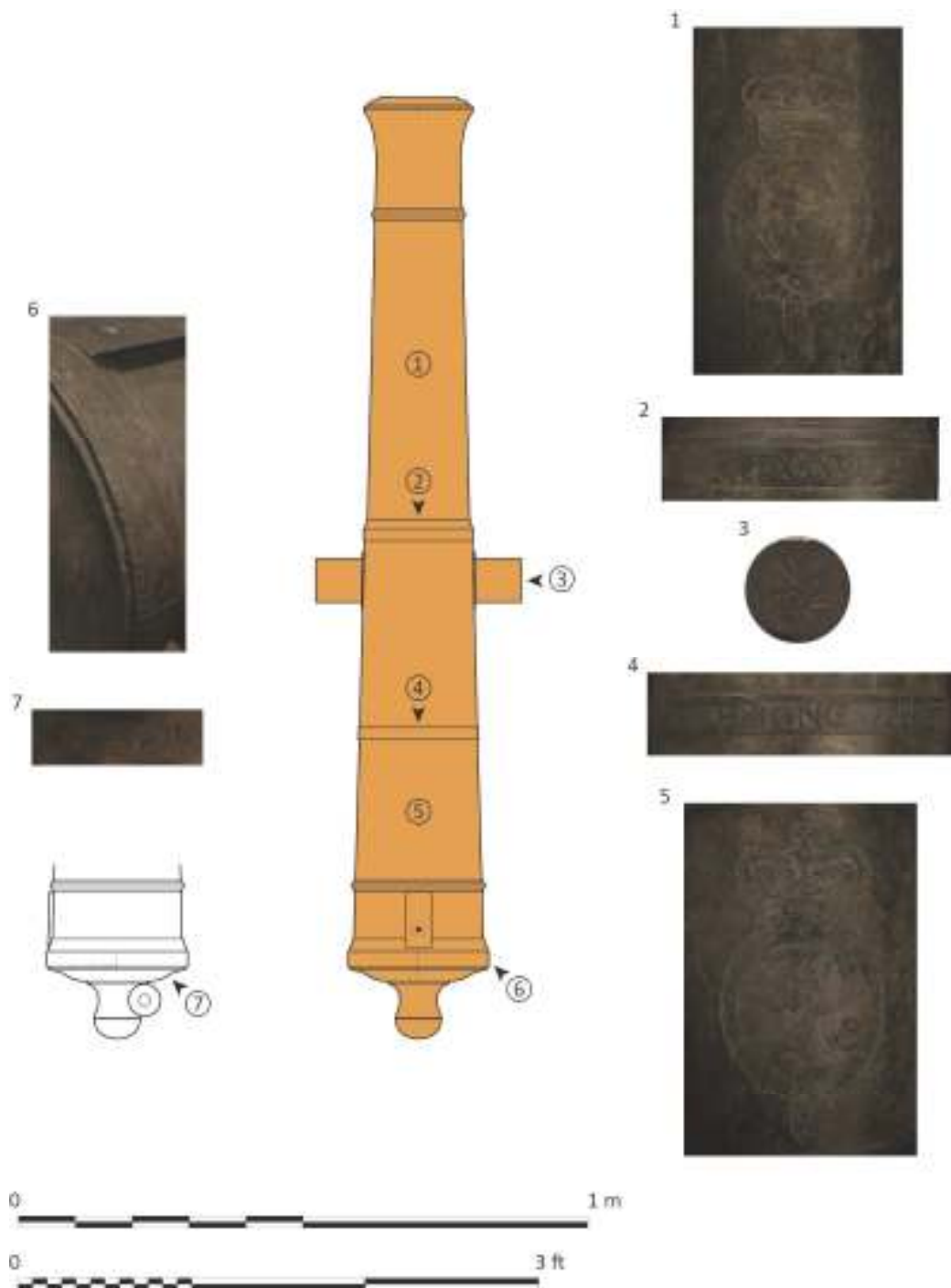


FIGURA A.10.32 – CAÑÓN DE BRONCE.

Plano del cañón de bronce, con el detalle de las marcas superficiales (aumento al 250 %): 1) escudo de Charles Cornwallis; 2) numeral DXXXV (535); marca indeterminada; 3) número de serie; 4) nombre de la empresa y fecha de fundición; 5) escudo del rey Jorge III; 6) escala para graduar la elevación del cañón; 7) peso.

Gráfico y fotos: N. Ciarlo 2011. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

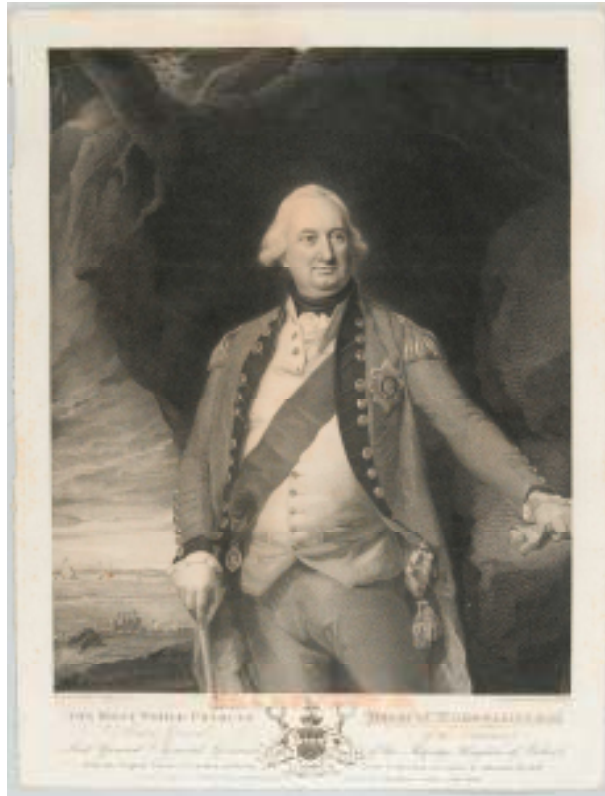


FIGURA A.10.33 – GRABADO DEL MARQUÉS DE CORNWALLIS.

Título original, en inglés: *The most noble Charles Marquis Cornwallis, Master General of the Ordnance, Lieutenant General, General Governor of his Majesty's Kingdom of Ireland*. La lámina (NAM 1973-07-93-1) fue grabada por Benjamin Smith, y publicada por J. J. Boydell en septiembre de 1798.

Fuente: © National Army Museum, Londres. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

5. En el primer cuerpo, entre el astrágalo del oído y la primera faja, el cañón exhibe el emblema del rey Jorge III. El cinto lleva el mismo lema que el escudo de Cornwallis, así como la corona real, y en el centro figuran las letras *GR* (George Rex) y el número arábigo 3.
6. El peso de la pieza está señalado en la culata, debajo del cascabel. La cifra que se lee es *6 ~ 0 ~ 6*, es decir seis quintales, cero arrobas y seis libras (ca. 307,5 kg).

7. A ambos costados de la faja alta de culata, el cañón lleva una escala graduada de cero a tres (la numeración comienza con el número 1), con cuatro subdivisiones por cada unidad. El punto cero se ubica lateralmente, a la altura del plano medio del cañón, con un pequeño orificio circular. Esta escala servía para medir la inclinación del cañón durante el servicio. Con relación a la puntería, la pieza también cuenta con la visera (en la faja alta de culata) y el botón de mira (en la joya).

Carronada

En el sitio se encontró una carronada, depositada sobre una capa de bombas de mortero de gran calibre (Fig. A.10.34). Es probable que esta pieza formara parte del armamento del propio barco (Vivar et al. 2014).



FIGURA A.10.34 – CARRONADA.

Situación de la carronada, ubicada sobre una capa de bombas de mortero.

Foto: CASC-MAC 2012. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Municiones

La munición correspondiente a las piezas de artillería, que en el caso de los proyectiles estaba formada por balas rasas de varios calibres, tarros de metralla y bombas de mortero, también se halló en la zona de popa. Estas últimas se llevaban a granel (en la bodega, a la altura del combés), mientras que las otras iban estibadas en cajas de madera de diferentes tamaños (Fig. A.10.35). Cabe notar que la carga del barco fue situada en la bodega sobre una tarima móvil, formada por varios tablones de madera, debajo de los cuales se colocó un relleno de grava a fin de prevenir que los objetos en cuestión estuvieran expuestos a la humedad característica de este espacio (Vivar et al. 2014).



FIGURA A.10.35 – CAJAS DE BALAS DE CAÑÓN.

Excavación de la zona de popa, adonde estaban estibadas las cajas de balas rasas y bombas de mortero.

Fotos: CASC-MAC 2012. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

El contenido de las cajas de balas se encuentra en proceso de análisis. Según los registros de las excavaciones realizadas durante 2011 y 2012, las cajas llevaban balas de variado tipo y calibre. Grosso modo, las balas de ca. 200 mm de diámetro estaban agrupadas de a tres por caja; las de ca. 160 mm, de a seis (dos filas de tres); las de ca. 135 mm, de a diez y doce (dos filas de cinco y seis,

respectivamente); y las de ca. 85 mm, de a dieciocho (tres filas de seis). Los valores anteriores fueron obtenidos de las mediciones bajo el agua, por lo que son aproximados (más abajo detallamos el diámetro de las balas recuperadas).

En el sitio también se hallaron miles de pequeñas balas de plomo, en su mayor parte de mosquete, que estaban estibadas dentro de barriles y cajas de madera en la zona de popa. La mayor parte de estos contenedores se deterioró por completo, aunque queda evidencia parcial de estos. Son de particular interés las tapas de los barriles, que en la superficie llevan inscrita la cantidad de balas, el mes y el año en que fueron almacenadas, entre otros datos de interés (Fig. A.10.36). El conjunto de balas, que cubría la totalidad de los restos del barco en el área mencionada, se retiró luego de su documentación, a fin de poder continuar con la excavación de los restos que yacían debajo (Vivar et al. 2014).



FIGURA A.10.36 – BALAS DE MOSQUETE.

Conjunto discreto de balas y tapa de uno de los barriles de madera, que hace referencia a su contenido (*Mus. [musquet] Ball [balls]*, i.e. balas de mosquete).

Fotos: CASC-MAC 2010. Reproducción autorizada, cortesía de la institución.

Aquí analizamos varios ejemplares de las balas rasas y de aquellas contenidas en los tarros de metralla, y realizamos un primer examen de las balas de plomo.

Las bombas de mortero constituyen la munición más grande. El diámetro de una de las piezas recuperadas es ca. 252 mm; el orificio para la espoleta tiene un diámetro de 39 mm y el espesor de la pared es de ca. 27 mm (a la altura del orificio donde iba la espoleta). Las municiones de este porte tenían dos semianillos, uno a cada lado del orificio referido, que servían para asirlas al momento de cargar la pieza de artillería (Fig. A.10.37). Otras bombas explosivas, más pequeñas, poseen un diámetro de ca. 140 mm, un orificio de 22 mm y una pared de ca. 23 mm de espesor. En función del diámetro, las primeras correspondían a munición de mortero de 10 pulgadas, mientras que las otras pertenecían a piezas de artillería de 24 libras. El peso de una de estas últimas bombas, ya conservada y vacía, es 6.300 g. Con relación a estas piezas, cabe mencionar que en el sitio se encontraron varias cajas con espoletas de diferente longitud.



FIGURA A.10.37 – BOMBA DE MORTERO.

Detalles de una de las bombas de mortero halladas en el sitio, calibre 10 pulgadas (las flechas indican la posición de las semianillas. El gráfico de la derecha ilustra, de modo aproximado, la morfología de la bomba (corte axial). Es posible que el espesor en la base fuera mayor.

Fotos: N. Ciarlo 2013. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

Las balas de hierro macizo de menor calibre tienen un diámetro de 87-88 mm (6 libras) y pesan, según el valor registrado en una de las piezas mejor conservadas, 1.900 g. También se encontraron varios ejemplares de hierro más pequeños, de 70 ± 3 mm de diámetro, que equivalen aproximadamente a balas de 3 libras. En este último caso, balas de este porte también pudieron ser utilizadas como metralla.

Los tarros de metralla completan las municiones llevadas en la carga del barco. En el sitio se registró la presencia de dos tipos. Los más comunes consisten en una lata de hojalata (véase más abajo) colmada de pequeñas balas esféricas de hierro, cuyo diámetro es variable, con arreglo al tamaño del tarro. Uno de los ejemplares mejor preservados tiene un diámetro de 122 mm y una altura de 142 mm (la parte superior es ligeramente abovedada). Las balas contenidas en este recipiente tienen un diámetro aproximado de 30 mm. El tarro de mayores dimensiones tiene un diámetro de ca. 150 mm y una altura de 160 mm. Las balas, asimismo, parecen ser más grandes (dada su ubicación, no fue posible medirlas). Al igual que otros artefactos de la Real Armada británica llevados a bordo, en la base de chapa de algunos tarros vacíos se pudo identificar la flecha del Almirantazgo (Fig. A.10.38).



FIGURA A.10.38 – BASE DE TARRO DE METRALLA.

Vista del interior de uno de los tarros de metralla recuperados, en cuyo centro se aprecia la flecha que indica su pertenencia a la Real Armada británica.

Foto: N. Ciarlo 2013. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

Algunos tarros cuentan con una base circular de madera, de ca. 17,5 mm. Una de estas piezas, que se encuentra en muy buenas condiciones, mide 129-130 mm de diámetro y 125-130 mm de alto (sin contar la base). Los tarros anteriores corresponden por lo general a piezas de calibre 18 y 32. La base de madera indica que esta munición estaba destinada al uso naval (véase McConnell 1988:320). Los otros tarros se diferencian de los descritos arriba porque llevaban una pieza de madera con forma de semiesfera en la parte superior (Fig. A.10.39). Los ejemplares relevados tienen un diámetro de 135-140 mm y una altura total de 190 mm (la tapa tiene una base de diámetro similar y una altura de 9,75 mm), por lo que corresponden a munición de calibre 24.



FIGURA A.10.39 – TARRO DE METRALLA CON TAPA SEMIESFÉRICA.

Foto: N. Ciarlo 2013. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

Respecto al contenido, como vimos, era práctica usual que estos tarros estuvieran llenos de balas esféricas de hierro (Fig. A.10.40-a). No obstante, en el sitio también se hallaron dos ejemplares que contienen otros objetos, según se pudo observar por medio de ojo desnudo gracias a que la chapa de varias carcasas se encuentra derruida. En particular, una de las piezas estaba cargada con balas de metralla, un clavo del tipo empleado para las tablas de forro, un fragmento de hierro con forma cilíndrica y balas de mosquete (Fig. A.10.40-b). Esta pieza mide 125 a 130 mm de diámetro (en la base), es decir que corresponde a munición de un cañón de 18 libras.

Las siguientes balas de metralla (BM) fueron seleccionadas para ser analizadas (Fig. A.10.41):

- i. BM-1: bala de 24,8 mm de diámetro y 52,7 g, de un tarro de metralla de 138 mm de diámetro (altura indeterminada).
- ii. BM-2: bala de 28 mm de diámetro y 85,8 g, de un tarro de metralla de 128 mm de diámetro y 125 mm de alto.
- iii. BM-3: bala de 35,5 mm de diámetro y 143,8 g, aislada (probablemente de tarro de metralla).
- iv. BM-4: bala de 25,1 mm de diámetro y 54,8 g, de un tarro de metralla de 135 mm de diámetro, muy deteriorado (también se extrajo una muestra de la chapa de este recipiente), recuperado en 2009.
- v. BM-5: bala de 25 mm de diámetro y 32,1 g, perteneciente al mismo tarro que la No. 4.
- vi. BM-6: bala de 29 mm de diámetro y 91,4 g, aislada (probablemente de tarro de metralla), recuperada en 2012.
- vii. BM-7: bala de 28,2 mm de diámetro y 88,3 g, de un tarro de metralla extraído en 2010.
- viii. BM-8: bala de 29 mm de diámetro y 88,3 g, perteneciente al mismo tarro que la bala No. 8.

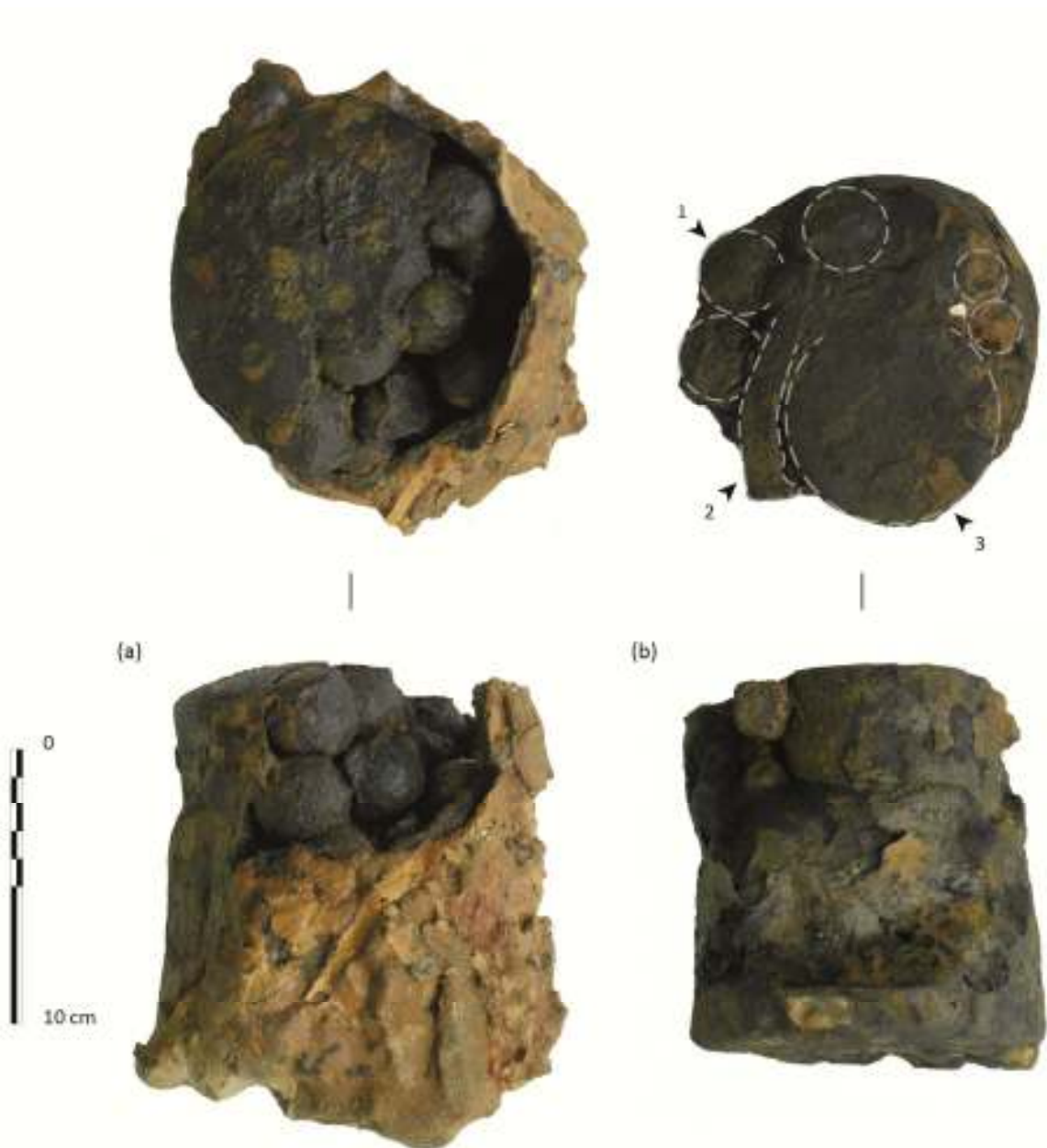


FIGURA A.10.40 – TARROS DE METRALLA CON MUNICIÓN IRREGULAR.

Tarros de metralla, en vista frontal y superior: (a) con munición regular (balas esféricas de hierro); (b) con munición varia, que incluye balas de hierro (1), un clavo del tipo usado para las tablas de forro (2) y un objeto cilíndrico de hierro indeterminado (3).

Fotos: N. Ciarlo 2013. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.



FIGURA A.10.41 – BALAS DE METRALLA.

Balas de hierro recuperadas de varios tarros de metralla. Nótese que algunas de las piezas poseen rastros del canal de colada.

Fotos: N. Ciarlo 2011/13. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

En el caso de las balas rasas de cañón (BR), se tomaron como muestra los siguientes ejemplares (Fig. A.10.42):

- i. BR-1: bala de 3 libras: 67 mm de diámetro y 1.014 g, aislada (también pudo ser empleada como bala de metralla).
- ii. BR-2: bala de 8 libras: 90 mm de diámetro y 2.630 g, extraída en 2009.
- iii. BR-3: bala de 18 libras: 130-131 mm de diámetro y 7.400 g (fragmento), extraída en 2009.



FIGURA A.10.42 – BALAS RASAS.

Balas de hierro de diferente calibre: (BR-1) 3 libras (¿metralla?); (BR-2) 8 libras; (BR-3) 18 libras.

Fotos: N. Ciarlo 2013. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

Ya vimos que este tipo de balas se producía por medio de fundición y colada en molde (véase el capítulo 8). A nivel macroscópico, algunas de las balas de metralla del sitio presentan restos del canal de colada, en ocasiones con marcado relieve sobre la superficie (e.g. bala No. 2). En otros casos, pueden apreciarse dos marcas centrales, que corresponderían respectivamente a la inserción del canal de colada y venteo; aunque la segunda podría estar relacionada con una comunicación del molde hacia otra pieza (colada en serie). La rústica terminación de estas balas no suponía un inconveniente para el disparo (para el ánima del cañón o la trayectoria de vuelo), dado que iban agrupadas dentro de las latas y que, además, en conjunto eran descargadas en forma de lluvia. No sucedía cosa semejante en el caso de las balas rasas. Estas últimas, a diferencia de aquellas, no presentan rastros superficiales del molde empleado para su manufactura. A continuación presentamos los resultados del análisis microestructural de las piezas listadas arriba (salvo la BR-2, que aún se encuentra en proceso).

La muestra BM-1 exhibe una microestructura típica de una fundición gris perlítica, con presencia de esteadita (Fig. A.10.43). Los tipos de grafito registrados son A (en forma de láminas largas), B (en forma de rosetas) y, en menor medida, D y E (véase White 1993:41). Estas modalidades están relacionadas con velocidades de enfriamiento moderadas a rápidas, así como con elevados contenidos de silicio

en la fundición de hierro, próximos a la condición eutéctica. Al respecto, es necesario mencionar que las mejores prestaciones mecánicas están asociadas al primer tipo de grafito. Por otro lado, el componente eutéctico ternario mencionado (esteadita) es indicativo de la presencia de una cantidad significativa de fósforo (por encima del 0,7 % en peso) y de la buena colabilidad del material. Mediante microscopía óptica se observó la existencia de una importante cantidad de partículas del tipo de sulfuros y unas pocas de compuestos de titanio, del tipo de carburos de titanio (CTi) y carbonitruros de titanio (CNTi) (Fig. A.10.44), similares a las que fueron registradas en otras muestras del mismo sitio (véase más abajo). Por otro lado, cabe destacar la presencia de algunos microrrechupes. Este tipo de rasgos aparecen cuando el metal líquido no puede llenar adecuadamente los vacíos generados por la contracción del material durante el proceso de solidificación. En particular, los microrrechupes son frecuentes en las aleaciones que tienen un amplio rango de solidificación y que son coladas a altas temperaturas (Gundlach 1993:1488). En este caso, en el que el contenido de grafito indica una composición cercana al eutéctico, es probable que la presencia de microrrechupes esté asociada a la segunda variable.

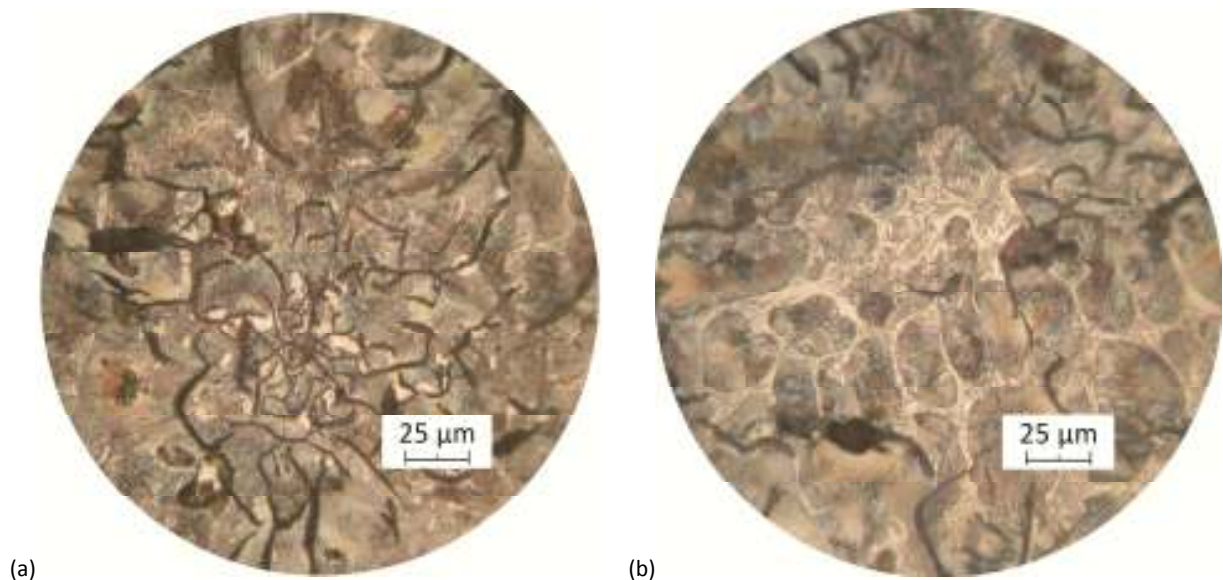


FIGURA A.10.43 – MICROESTRUCTURA DE FUNDICIÓN GRIS.

Fotomicrografías de la bala de metralla No. 1, con grafito A y B, perlita y esteadita.
 Reactivo de ataque: Nital 2 % (NO₃H al 2 %, en alcohol etílico).

Fotos: A. López 2014.

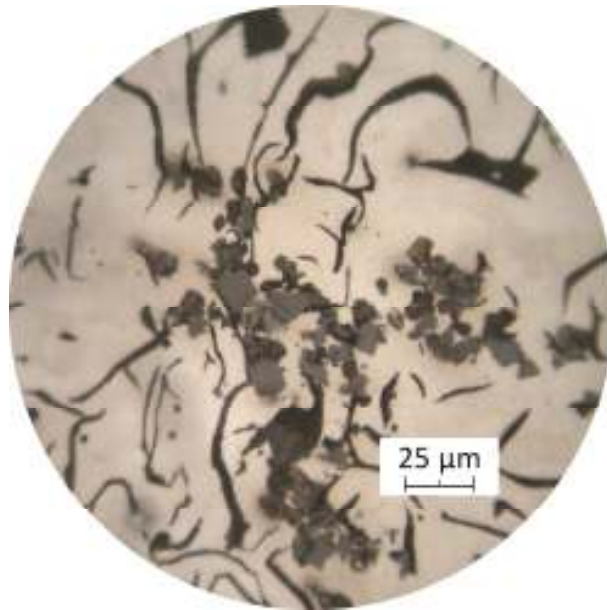


FIGURA A.10.44 – INCLUSIONES DE SULFUROS Y COMPUESTOS DE TITANIO.

Fotomicrografía de un sector de la bala de metralla No. 1 con concentración de inclusiones del tipo de sulfuros de manganeso (partículas poligonales de color gris claro) y compuestos de titanio (partículas más pequeñas, de color rojizo). Probeta sin ataque.

Foto: A. López 2014.

La muestra BM-2 presenta dos rechupes, uno en cercanías del canal de colada y otro en la zona central de la bala, que se pueden apreciar en la macrografía de la pieza (Fig. A.10.45). A nivel microestructural, la bala exhibe una estructura con presencia de cementita, perlita y cierta cantidad de esteadita (Fig. A.10.46). Estas características indican que el material corresponde a una fundición blanca. En este caso, también se observaron partículas del tipo de sulfuros distribuidas en la matriz de la aleación, así como algunos compuestos de titanio (CTi o CNTi). Cabe notar que la bala presenta una estructura de forma columnar, que se orienta en sentido radial (desde la periferia hacia el centro de la pieza), que también se nota a ojo desnudo. Esta forma de crecimiento de los granos es distintiva del proceso de solidificación que experimentan las fundiciones de hierro hipoeutécticas ($2,11 \% < C < 4,3 \%$).



FIGURA A.10.45 – SUPERFICIE DE LA BALA DE METRALLA NO. 2.

Macrografía de la bala, en la que se aprecia el crecimiento columnar en sentido radial, y los rechupes superior y central.

Foto: N. Ciarlo 2014.

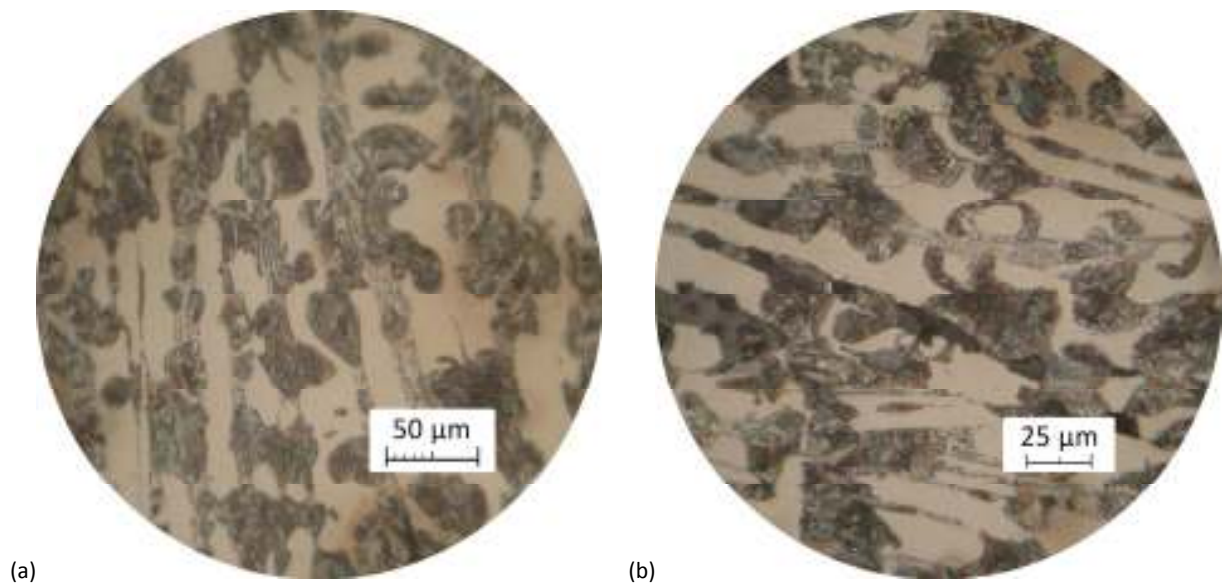


FIGURA A.10.46 – MICROESTRUCTURA DE FUNDICIÓN BLANCA.

Fotomicrografías de la bala de metralla No. 2, con cementita, perlita y esteadita. Nótese el crecimiento de tipo columnar de la cementita. Reactivo de ataque: Nital 2 %.

Fotos: H. De Rosa 2014.

En la figura A.10.47 ilustramos un corte de la bala de metralla No. 3. Esta exhibe una microestructura de fundición blanca, formada por cementita, grandes colonias de perlita y cierta cantidad de esteadita (Fig. A.10.48). Al igual que en el caso anterior, se trata de una fundición hipoeutéctica. Mediante microscopía óptica también se observó la presencia de partículas de sulfuros y compuestos de titanio (CTi o CNTi). Las primeras fueron luego identificadas por medio de EDS como inclusiones de sulfuro de manganeso (MnS) (Fig. A.10.49). La pieza presenta microrrechupes y, en particular, un elevado grado de porosidad, resultado de la existencia de gases entrampados (véase la Fig. A.10.47). Varios factores pueden dar cuenta de esto último, tales como un venteo inadecuado, suciedad en las paredes del molde (e.g. humedad) y una baja fluidez del material, ya sea debido a la temperatura de colada o a la composición de la aleación (véase Fruehan 1992). En cualquier caso, la porosidad que presenta la bala puede ser considerada como indicio de una fundición de baja calidad. Recordemos que es probable que este tipo de imperfecciones haya interferido con la dirección de vuelo de las balas, aunque en el caso de la metralla ello no habría significado un inconveniente.



FIGURA A.10.47 – VISTA DE UN CORTE DE LA BALA DE METRALLA NO. 3.

Sección media de la bala. En la superficie (interna) se aprecian varios poros de considerables dimensiones.

Foto: N. Ciarlo 2014.

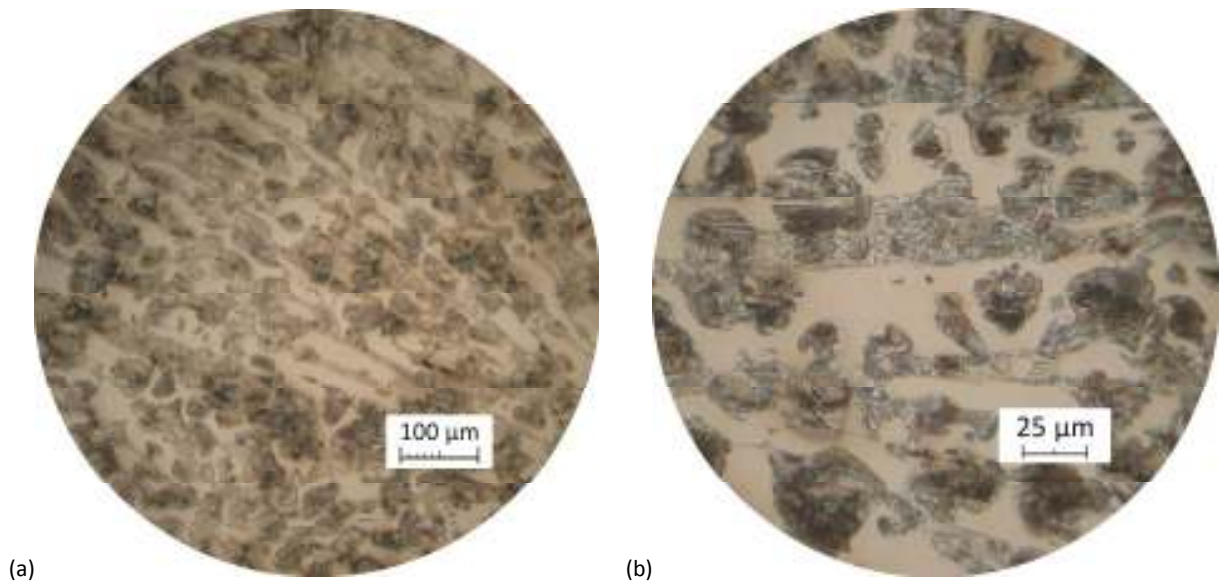


FIGURA A.10.48 – MICROESTRUCTURA DE FUNDICIÓN BLANCA.

Fotomicrografías de la bala de metralla No. 3, con cementita, perlita y esteadita.
 Reactivo de ataque: Nital 2 %.

Fotos: H. De Rosa 2014.

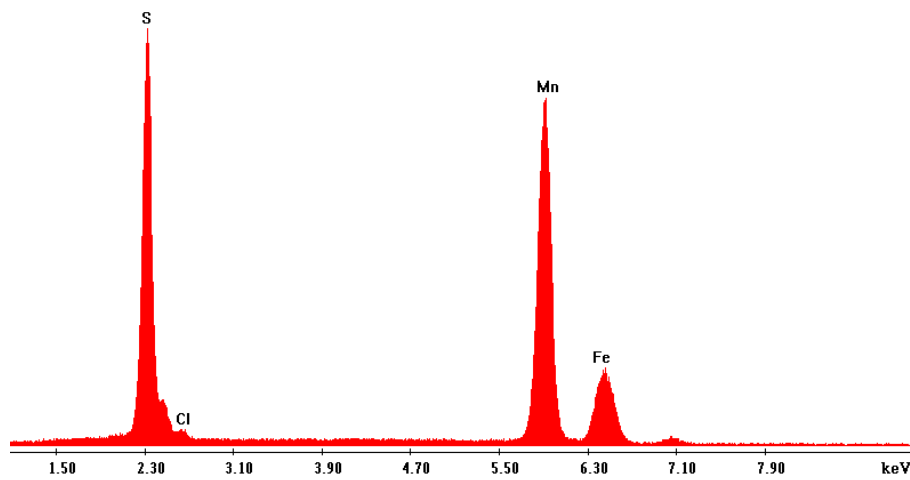


FIGURA A.10.49 – COMPOSICIÓN QUÍMICA DE UNA INCLUSIÓN.

Espectro EDS de una de las inclusiones poligonales de sulfuro de manganeso (MnS).

Imagen: G. Maxia 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

La microestructura de la muestra BM-4 corresponde a una fundición gris perlítica, con presencia de esteadita (Fig. A.10.50). El grafito detectado es del tipo A, B y, en menor grado, E. La muestra posee una cantidad apreciable de inclusiones (del tipo) de sulfuros y algunos compuestos de titanio (CTi o CNTi). Además, debe resaltarse que presenta una gran cantidad de microrrechupes.

La bala de metralla No. 5 exhibe, en términos generales, una microestructura de similares características; aunque se diferencia de la anterior en que no se registraron microrrechupes y la cantidad de esteadita es mayor (Fig. A.10.51).

La bala de metralla No. 6 exhibe una microestructura de fundición gris perlítica, con una cantidad considerable de esteadita. A diferencia de los casos anteriores, el grafito es del tipo C (Fig. A.10.52). Por otro lado, presenta partículas (del tipo) de sulfuros y compuestos de titanio, similares a los ya referidos. Estos últimos se ilustran en la figura A.10.53. También se registró la presencia de microrrechupes. Las características observadas indican que se trata de una fundición hipereutéctica ($4,3 \% < C < 6,67 \%$).

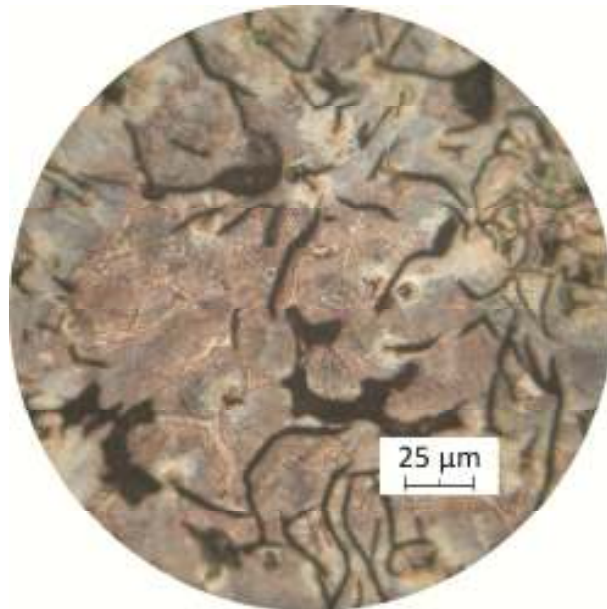


FIGURA A.10.50 – MICROESTRUCTURA DE FUNDICIÓN GRIS.

Fotomicrografía de la bala de metralla No. 4, con grafito A y B, perlita y esteadita. Reactivo de ataque: Nital 2 %.

Foto: H. De Rosa 2014.



FIGURA A.10.51 – MICROESTRUCTURA DE FUNDICIÓN GRIS.

Fotomicrografía de la bala de metralla No. 5, con grafito A y B, perlita y esteadita (mayor cantidad que en la muestra BM-4). Reactivo de ataque: Nital 2 %.

Foto: H. De Rosa 2014.

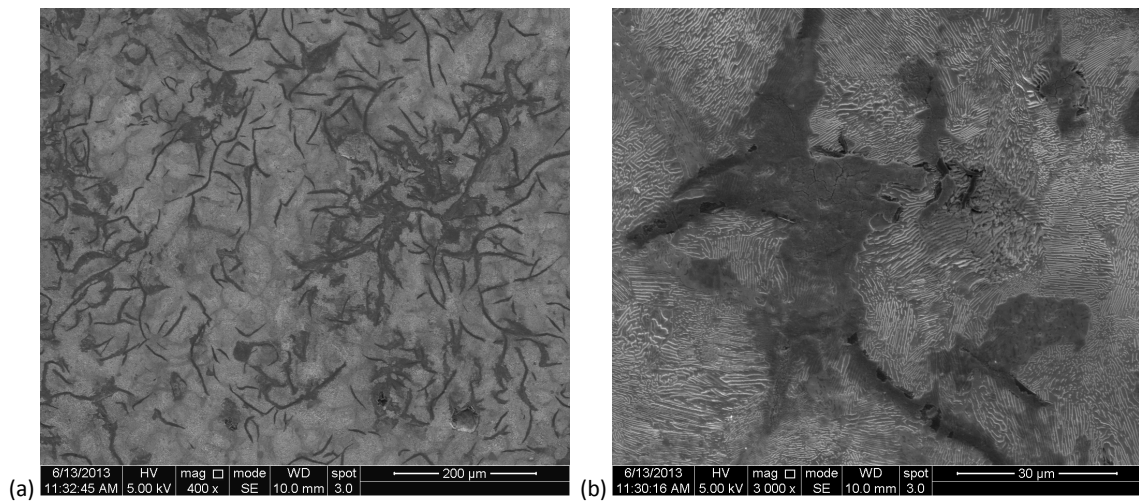


FIGURA A.10.52 – MICROESTRUCTURA DE FUNDICIÓN GRIS.

Imágenes SEM de la bala de metralla No. 6, con grafito C, perlita y esteadita.

Imágenes: M. Pianetti 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

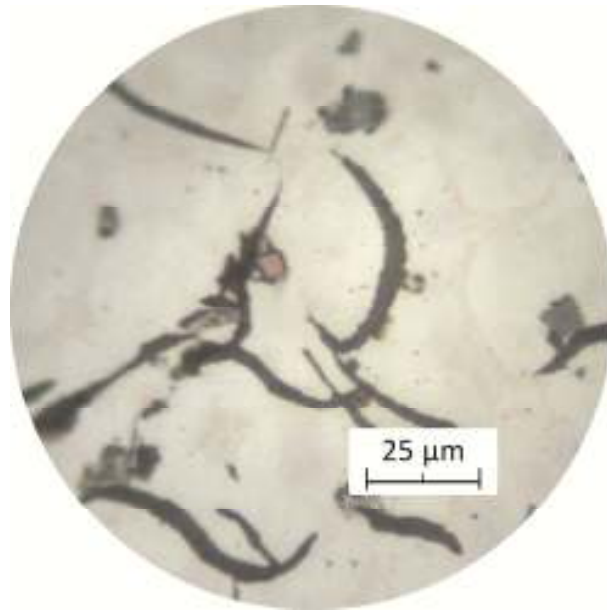


FIGURA A.10.53 – COMPUESTOS DE TITANIO.

Detalle de un sector de la bala de metralla No. 6, en la que se aprecian las inclusiones de compuestos de titanio. Probeta sin ataque.

Foto: H. De Rosa 2014.

La bala de metralla No. 7 presenta una microestructura de cementita y perlita, características típicas de una fundición blanca hipoeutéctica (Fig. A.10.54). En algunas zonas se pudieron apreciar pequeñas cantidades de grafito tipo B (Fig. A.10.55-a). Tal como en otros casos, se detectaron inclusiones atribuibles a sulfuros y compuestos de titanio (CTi o CNTi), así como poros y microrrechupes; además, posee un rechupe central. El análisis de EDS permitió precisar que las partículas poligonales (véanse las Figs. A.10.54-b y A.10.55-a) son de sulfuro de manganeso (MnS) (Fig. A.10.56).

La muestra BM-8 exhibe una microestructura similar a la anterior (Fig. A.10.57 y Fig. A.10.58). No obstante, se distingue de esta por la ausencia de poros y microrrechupes.

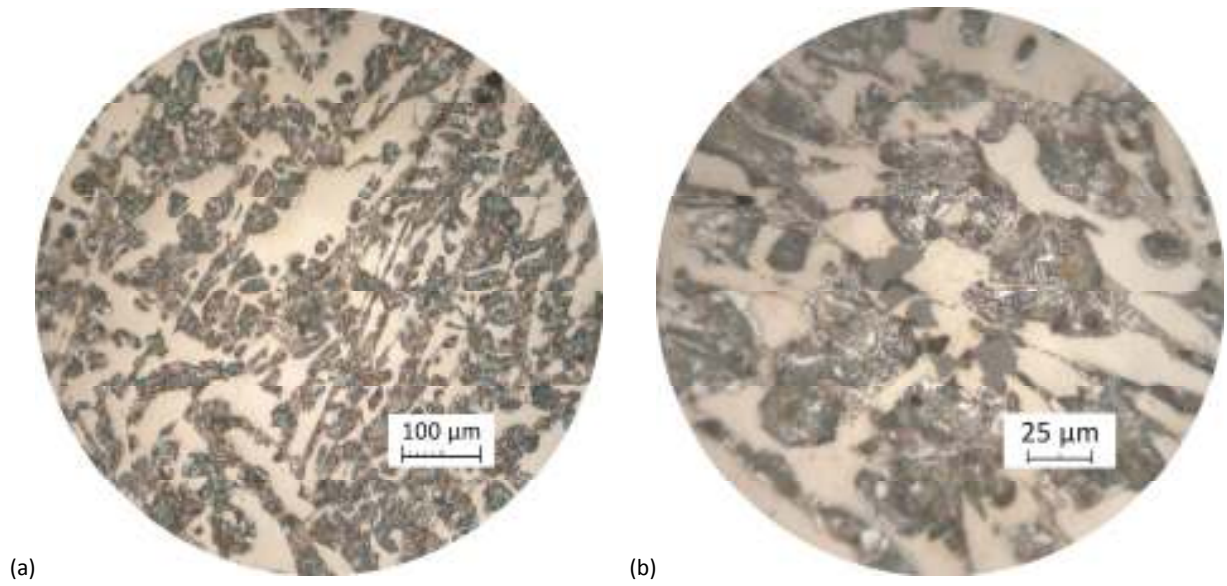


FIGURA A.10.54 – MICROESTRUCTURA DE FUNDICIÓN BLANCA.

Fotomicrografías de la bala de metralla No. 7, con cementita y perlita: (a) vista general; (b) detalle de una zona con inclusiones de sulfuros. Reactivo de ataque: Nital 2 %.

Fotos: A. López 2014.

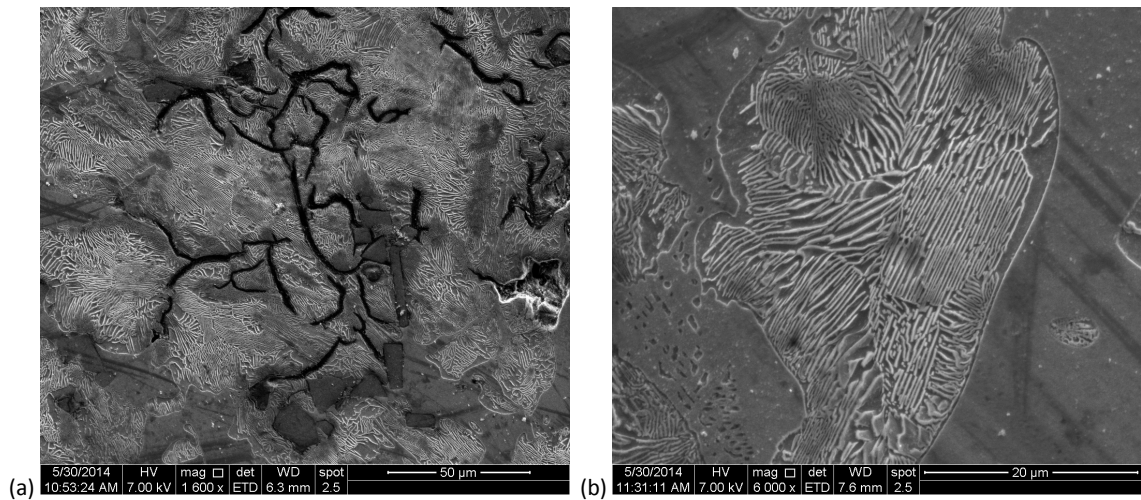


FIGURA A.10.55 – DETALLES DE LA MICROESTRUCTURA DE LA BALA.

Imágenes SEM de la muestra BM-7: (a) zona con grafito tipo B e inclusiones de MnS; (b) detalle de la perlita.

Imágenes: M. Pianetti 2014. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

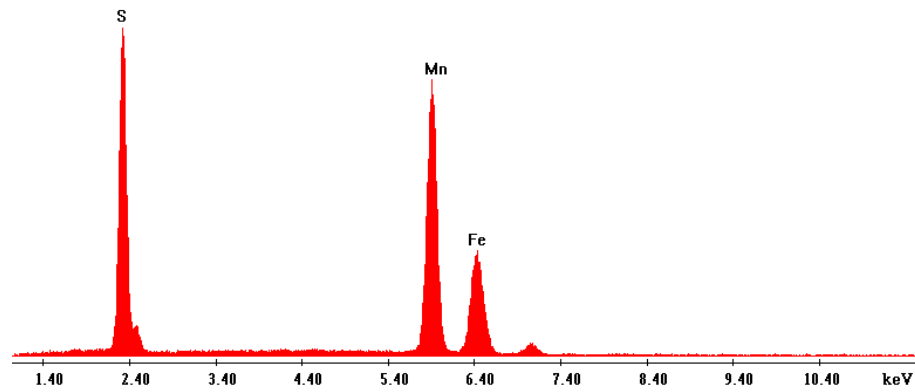


FIGURA A.10.56 – COMPOSICIÓN QUÍMICA DE UNA INCLUSIÓN.

Espectro EDS de una de las inclusiones poligonales de sulfuro de manganeso (MnS).

Imagen: M. Pianetti 2014. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

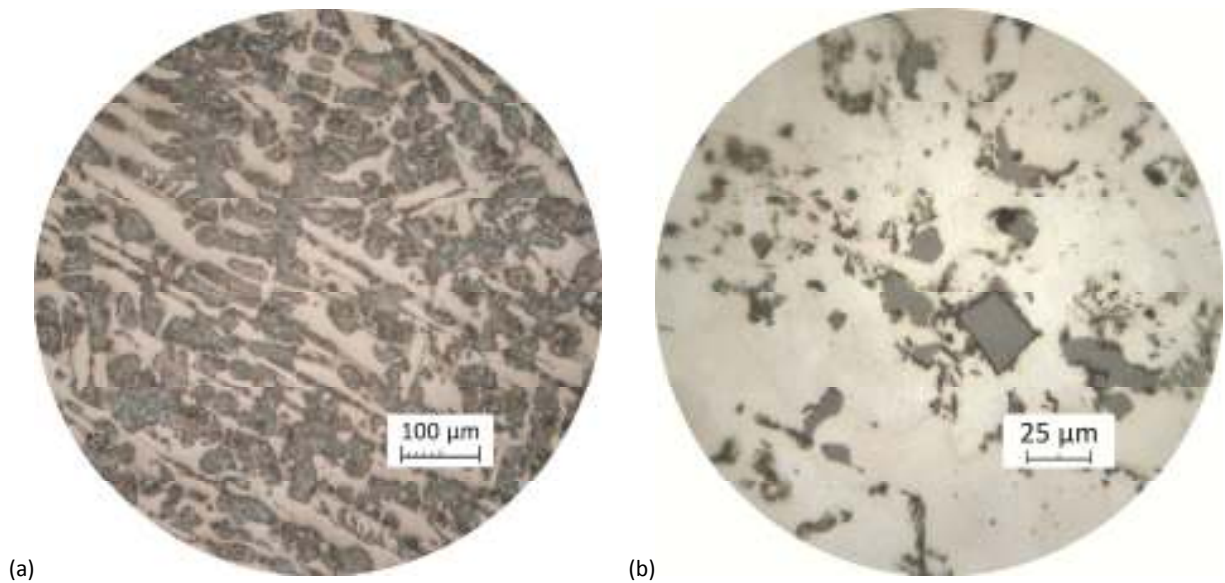


FIGURA A.10.57 – MICROESTRUCTURA DE FUNDICIÓN BLANCA.

Fotomicrografías de la bala de metralla No. 8, con cementita y perlita: (a) vista general (con revelado); (b) detalle de una zona con inclusiones de sulfuros (sin revelado). Reactivo de ataque: Nital 2 %.

Fotos: A. López 2014.

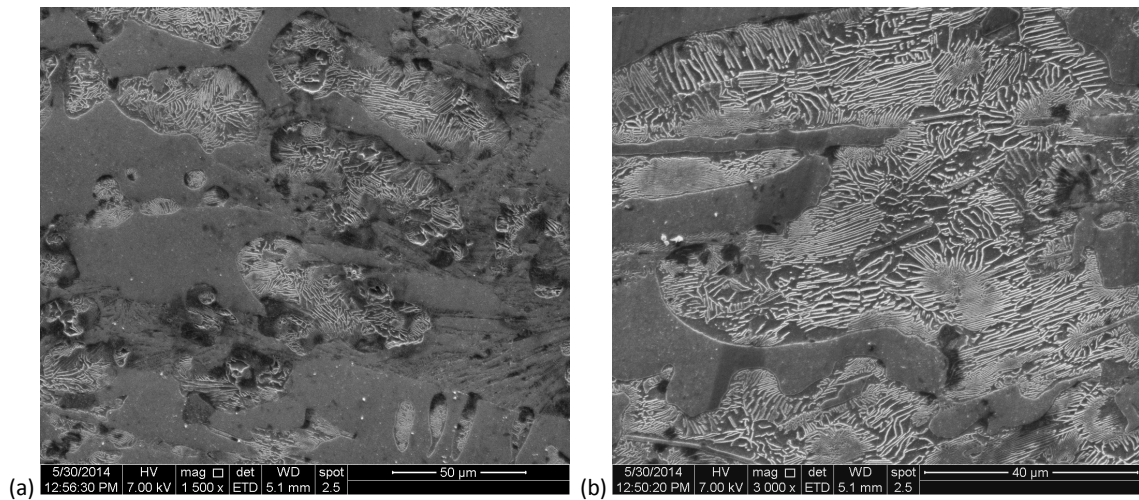


FIGURA A.10.58 – DETALLES DE LA MICROESTRUCTURA DE LA BALA.

Imágenes SEM de la muestra BM-8: (a) estructura de cementita; (b) colonias de perlita.

Imágenes: M. Pianetti 2014. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

En cuanto a las balas rasas, las dos piezas analizadas tienen características similares. La muestra BR-1 presenta, desde la periferia hacia el centro, tres tipos de microestructuras. En cercanías a la superficie, pudo apreciarse una estructura con cementita, que como ya vimos es típica de la fundición blanca. En una zona intermedia, aquella es de tipo atruchada, es decir que muestra tanto cementita como grafito. Hacia el centro de la pieza, en cambio, la microestructura corresponde a una fundición gris perlítica, con esteadita. El grafito registrado es del tipo A, B y C (B en el área central). También se registraron partículas del tipo de sulfuros y compuestos de titanio (CTi o CNTi). No obstante, esta bala no presenta indicios de poros y microrrechupes. Con relación a las estructuras descritas anteriormente, es probable que las diferencias registradas en los distintos sectores estén relacionadas con el hecho de que la bala experimentó un enfriamiento más acelerado en la periferia que en el centro.

En el caso de la bala rasa No. 3, debido a sus dimensiones (diámetro: 131 mm), se extrajo una muestra perimetral. La zona analizada corresponde al perímetro (hasta una profundidad de ca. 25 mm). La microestructura cercana a la superficie corresponde a una fundición blanca, mientras que en la zona ubicada hacia el

interior es gris perlítica, con esteadita. Allí, el grafito está presente en los tipos A, B y E, este último en menor proporción. Al igual que en la muestra BR-1, entre aquel y este sector hay una zona intermedia de fundición atruchada (Fig. A.10.59).

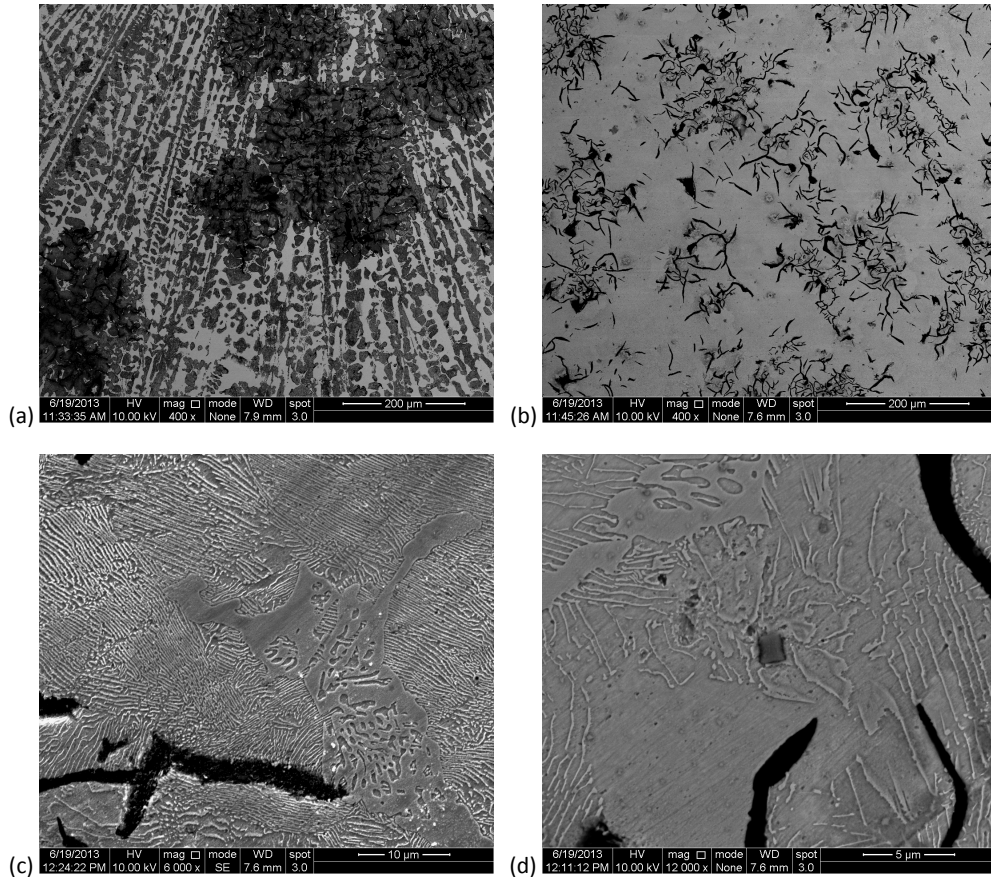


FIGURA A.10.59 – DETALLES DE LA MICROESTRUCTURA DE LA BALA.

Imágenes SEM de la muestra BR-3: (a) zona con cementita y grafito tipo B (zona próxima a la superficie); (b) zona con grafito tipo E; (c) detalle de la perlita (zona de fundición gris); (d) detalle de una inclusión poligonal (zona de fundición gris).

Imágenes: M. Pianetti 2014. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

Mediante un análisis por medio de EDS se detectó la presencia de fósforo, lo cual es consistente con la microestructura analizada. Asimismo, mediante esta técnica se determinó que las partículas poligonales observadas son de sulfuro de manganeso y compuestos de titanio (CTi o CNTi) (Fig. A.10.60).

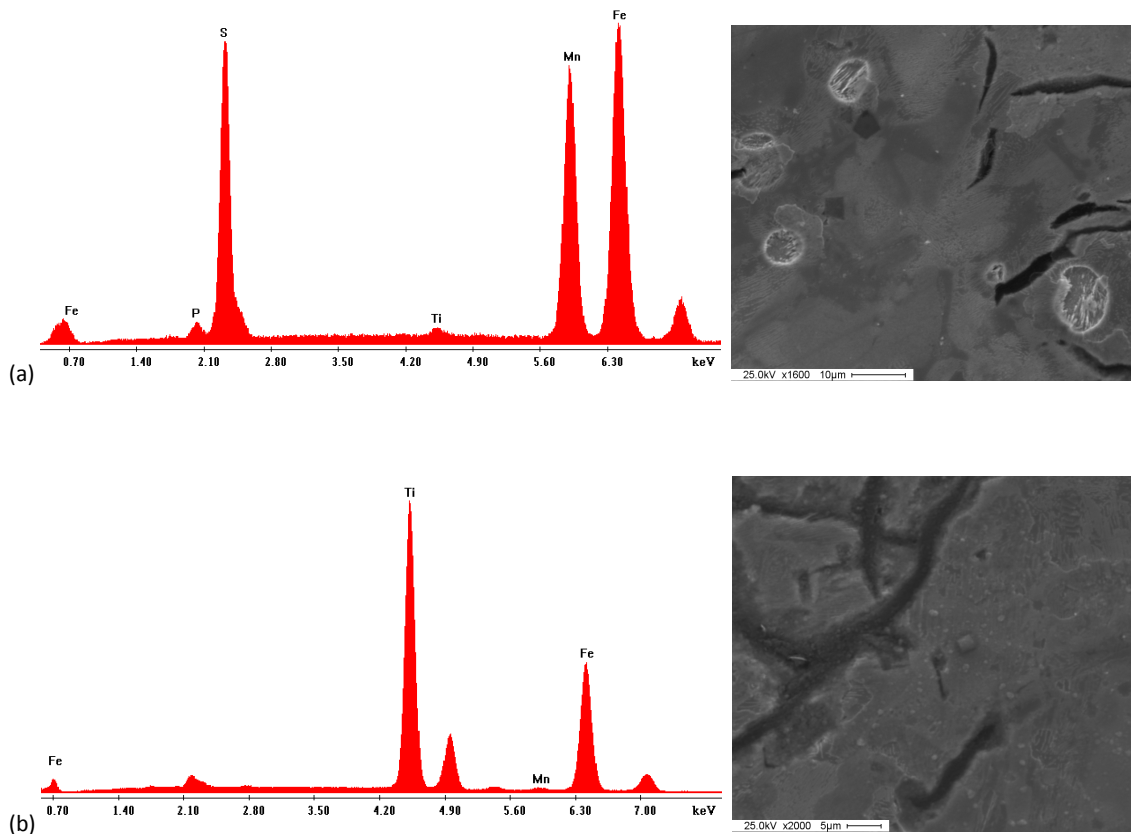


FIGURA A.10.60 – COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS INCLUSIONES.

Espectros EDS de los dos tipos de inclusiones registradas en la muestra: (a) sulfuro de manganeso (MnS); (b) compuestos de Ti.

Imagen: G. Maxia 2013. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

Con relación a las balas de plomo, ya mencionamos que en su mayor parte fueron halladas desperdigadas por el sitio, aunque iban almacenadas en barriles y cajas de madera. Los ejemplares hallados son de diferentes calibres. Las que corresponden a mosquete miden 17,5 mm (calibre .69); las de carabina, 15,5 mm (calibre .61); y otras más pequeñas, de pistola, tienen un diámetro que oscila entre 11 mm y 13 mm. Con respecto a las primeras, las inscripciones de las tapas de los barriles con balas indican que cada uno de estos contenía 500 unidades (e.g. “Mus^t. Ball / cartr^s. 500 / Aug^t. 1810”). El estado de preservación general de las balas recuperadas es bueno, aunque la superficie está cubierta por una fina capa de productos de corrosión.

A los fines analíticos, se estudió una muestra de las balas de mosquete que se encontraban en seis contenedores, dos de estos recuperados en 2009 y cuatro en 2010 (barriles 009–A y B y 010–1 a 4, respectivamente). Para evaluar el peso de las balas calibre .69, se realizaron tres mediciones en diferentes piezas, escogidas al azar de los siguientes barriles. De resultas, se obtuvieron los siguientes valores:

1. Barril 2009–A: 29 unidades (898 g), 30 unidades (929 g) y 31 unidades (960 g). Promedio de cada bala: 31 g.
2. Barril 2009–B: 29 unidades (890 g), 30 unidades (920 g) y 31 unidades (950 g). Promedio de cada bala: 30,7 g.

Las balas del barril 2009–A son las que muestran mejores condiciones de preservación, por lo que la estimación del peso de las piezas puede ser considerada como la más confiable. Según los valores registrados, se trata de piezas de a 29 cada dos libras. Las balas de carabina, según las mediciones efectuadas sobre varios conjuntos, son munición de a 21 por cada libra. El estado de deterioro de las balas más pequeñas no permitió realizar una aproximación confiable a la relación entre el número y peso de las mismas. Si consideramos el ejemplar en mejores condiciones, cuyo peso es 15 g, el valor es próximo a 30 balas por libra.¹¹

A nivel macroscópico, muchos ejemplares conservan evidencia del proceso de manufactura (véase Foard 2009). En particular, presentan rastros de una línea perimetral correspondiente a la unión de las mitades del molde utilizado. En menor medida, también se observa una impronta circular, remanente del canal de colada, que en unos pocos casos se encuentra en relieve (Fig. A.10.61). Teniendo en consideración los métodos de producción de la época para esta clase de municiones, es probable que las balas recuperadas del cargamento del barco hayan sido fabricadas en ramillete (moldes en serie), un método laborioso que usualmente dejaba algunas imperfecciones superficiales.

¹¹ El calibre de esta munición de plomo se definía en función del número de balas por unidad de peso (una o dos libras). Para el caso de las armas británicas, según Muller, 20 balas de mosquete pesaban dos libras; mientras que 20 balas de carabina y 34 de pistola pesaban una libra (Muller 1768:177).



FIGURA A.10.61 – BALAS DE MOSQUETE.

Balas de plomo calibre .69, que exhiben rastros del proceso de manufactura. Las flechas indican el remanente del canal de colada.

Fotos: N. Ciarlo 2013. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

El examen mediante OM de algunos ejemplares, permitió apreciar una microestructura de tipo dendrítica, típica de un proceso de solidificación. Todas las balas seccionadas exhiben un poro cercano al canal de colada. La observación con lupa binocular de la superficie de las muestras, luego del revelado metalográfico, permitió apreciar el crecimiento de los granos desde la periferia hacia el centro. Este presenta algunas diferencias, según el caso. En la figura A.10.62 ilustramos la macrografía de dos balas. En la primera, predominan granos de tipo columnar, alongados en sentido perpendicular a las paredes del molde; en la segunda, en cambio, se reconocieron dos zonas: una con granos de forma columnar, a lo largo del perímetro; y otra con granos equiaxiales, en el centro de la bala. Las variaciones registradas pueden estar asociadas a diferentes condiciones de solidificación (e.g. temperatura de colada y velocidad de enfriamiento) y a una desigual composición química. La microestructura de ambas zonas está ilustrada en la figura A.10.63. La segunda fase en el borde de grano corresponde, presumiblemente, a antimonio.

Un análisis preliminar por medio de EDS indicó que las balas fueron hechas con plomo (Fig. A.10.64). En dos casos también se registró cierto tenor de antimonio (ca. 3 %). En la tabla A.10.6 listamos los resultados obtenidos.

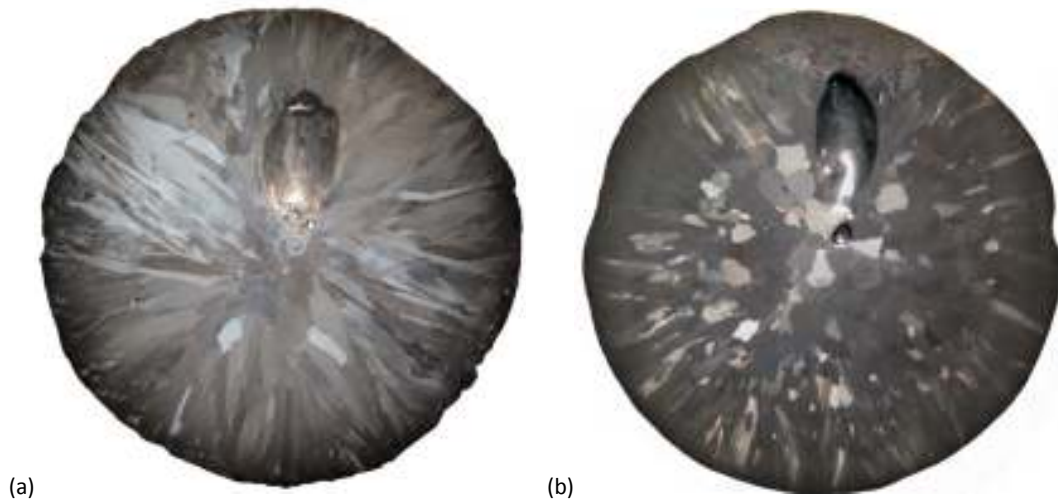


FIGURA A.10.62 – MICROESTRUCTURA DE LAS BALAS DE MOSQUETE.

Macrografías de dos balas de mosquete, en las que se aprecia el crecimiento de los granos desde la superficie: a) de tipo columnar (AN, barril 010–1); b) de tipo columnar y equiaxial (AC, barril 009–A). Nótese el poro alargado, cercano al canal de colada de las piezas. Diámetro de las balas: 17,5 mm. Reactivo de ataque: CH_3COOH , H_2O_2

Fotos: A. Castelli 2014.

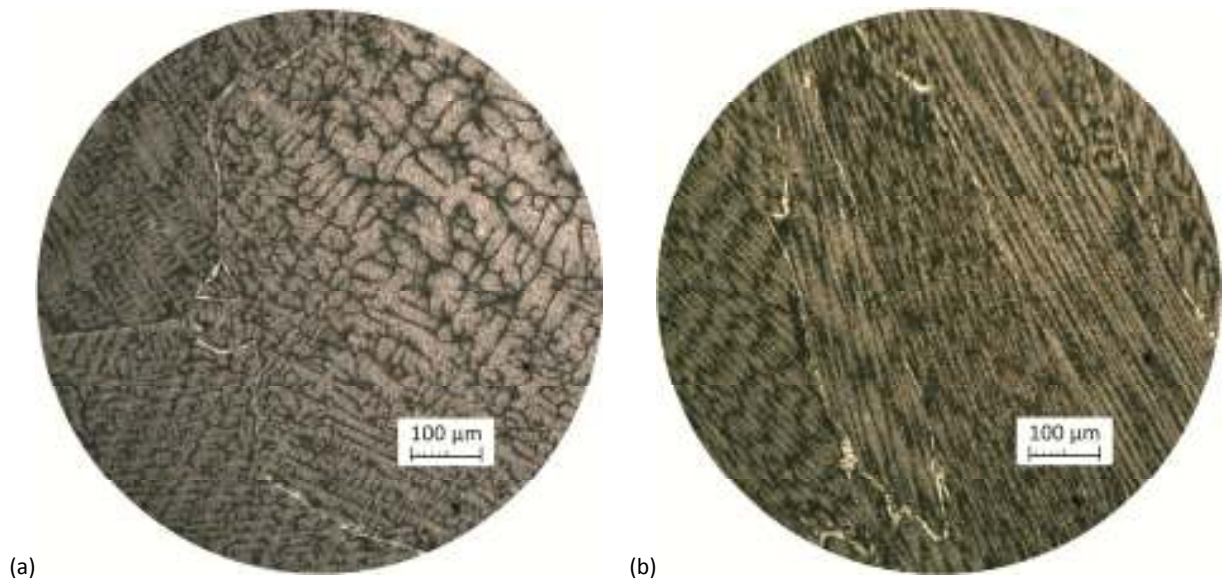


FIGURA A.10.63 – MICROESTRUCTURA DE UNA BALA DE MOSQUETE.

Fotomicrografías de dos sectores de la bala de plomo AC: (a) centro; (b) periferia. Reactivo de ataque: CH_3COOH , H_2O_2

Fotos: A. Castelli 2014.

Tanto el plomo sin alear como el uso de moldes para producir una o varias balas fueron los medios utilizados corrientemente hasta alrededor de mediados del siglo XIX. El agregado regular de otros elementos (e.g. estaño o antimonio) en pequeña concentración, con el fin de mejorar la fluidez del metal líquido o las propiedades mecánicas de las municiones, fue una práctica tardía. Hubo algunas excepciones, como es el caso de las balas endurecidas con estaño que utilizó el Bengal Army en la India durante la primera mitad del ochocientos, con el fin de quebrar las extremidades de los caballos enemigos (David Harding, com. pers. 2014). En el caso del Deltebre I, los tenores de antimonio registrados en algunas de las muestras sugieren que podría tratarse de un agregado *ex profeso*.

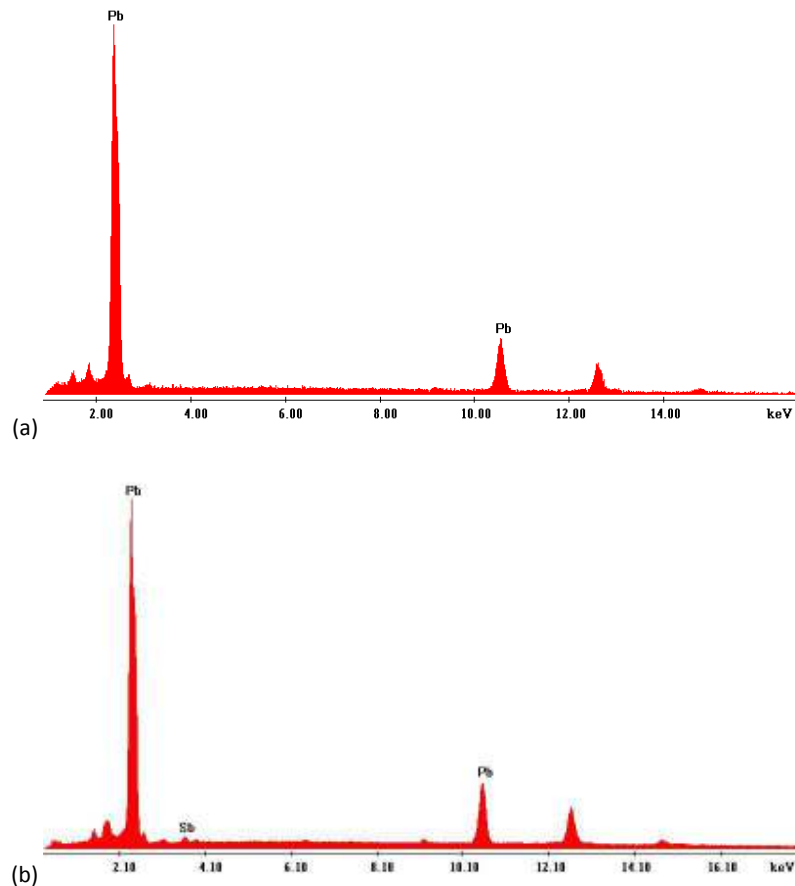


FIGURA A.10.64 – COMPOSICIÓN QUÍMICA DE DOS BALAS DE MOSQUETE.

Espectros EDS de las balas AN y AC (a y b, respectivamente), ilustradas en la figura A.10.62.

Imágenes: M. Pianetti 2014. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

Calibre

Entre los accesorios utilizados por los artilleros, se halló un instrumento de medición de aleación de cobre (probablemente de latón), que entre otras cosas servía para determinar el calibre de las piezas de artillería. Esta operación se llevaba a cabo, recordemos, midiendo el diámetro del ánima a la altura de la boca del cañón. En una de las caras de la pieza todavía se lee la siguiente inscripción: *M. Berge London late Ramsden*. Lo anterior indica que el objeto fue elaborado por Matthew Berge (1753-1819), en Londres, en algún momento a principios del siglo XIX. Berge trabajó durante décadas con el reconocido fabricante de instrumentos de precisión Jesse Ramsden (1735-1800) y se hizo cargo del taller de Piccadilly luego de la muerte de su maestro (véase McConnell 2007, para mayor información sobre la vida y obra de Ramsden).

Este instrumento tiene una doble escala, graduada para el caso de la artillería inglesa y francesa, que incluye los siguientes calibres: 4, 8, 12, 18, 24 y 36 (Fig. A.10.65). En la actualidad, las medidas expresadas —la distancia entre la punta de los brazos, una vez cruzados— para cada uno de los mencionados calibres son las siguientes: en la escala inglesa, 49, 73, 90, 107, 122 y 144 mm; y en la escala del reverso, 61, 82, 96, 113, 126 y 148 mm. Los brazos de la pieza están doblados, por lo que estas cifras no coinciden con los valores originales; son inferiores, si tenemos en cuenta la documentación escrita y otros casos arqueológicos. Partiendo de los diámetros manifestados en la pieza (en su estado actual), es posible apreciar que el aumento del volumen de los calibres de uno y otro lado no es acorde a la relación del radio de la esfera al cubo.

Por otro lado, para un mismo calibre las medidas francesas son superiores a las inglesas. Para determinar el tamaño de las balas y, por ende, del ánima de las piezas de artillería, los ingleses tenían en cuenta un material con un peso específico superior al que utilizaban los franceses; de allí las discrepancias en el tamaño de los calibres de una y otra procedencia (véase el capítulo 8). Por esto mismo, es esperable que la diferencia que existía a nivel volumétrico entre las balas inglesas y francesas, para cada calibre, fuera similar. No obstante, según los cálculos realizados a partir de los diámetros registrados, aquella diferencia no es regular, sino que decrece de manera progresiva conforme los calibres aumentan, a saber:

92, 41, 21, 17, 10 y 8 %, respectivamente. Es probable que las anomalías anteriores estén relacionadas, al menos en parte, con la distorsión que sufrieron los brazos del instrumento.



FIGURA A.10.65—INSTRUMENTO DE MEDICIÓN.

Instrumento para medir el calibre de los cañones y detalles del extremo: (a) escala inglesa; (b) escala francesa (el brazo con la escala lleva grabada la palabra *French*).

Fotos: N. Ciarlo 2013. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

Miscelánea

Zunchos de barriles

Los barriles de madera del sitio presentan dos tipos de zunchos: de materia vegetal y de cobre. Las balas de mosquete iban almacenadas en los primeros, mientras que la pólvora estaba contenida en los segundos. Algunos barriles conservan parte o la totalidad de los zunchos. En el caso de los aros de metal, muchos se hallaron dispersos entre el cargamento, debido al deterioro de las duelas de madera.

En el caso de las piezas sueltas, pudimos registrar dos tamaños de zunchos de metal, cuyas diferencias sugieren la existencia de barriles de varias dimensiones. El diámetro de un grupo oscila entre los 255 mm y 275 mm (las discrepancias pueden estar relacionadas con la ubicación en un mismo barril); tienen un ancho de ca. 22 mm y un espesor de ca. 2 mm. Las medidas de uno de los zunchos más grandes son: 380 x 440 mm (la circunferencia está deformada); ca. 25 mm de ancho y ca. 3 mm de espesor. También se hallaron varios fragmentos de zunchos. Estas piezas llevan estampada la flecha del Almirantazgo, ubicada en la mayor parte de los casos cerca de la unión de los extremos de cada fleje (Fig. A.10.66). La posición que ocupan estas marcas en los flejes estudiados (e.g. en algunos casos están atravesadas por el orificio del remache que cierra el círculo), indica que estas debieron ser realizadas con anterioridad a la confección del zuncho, probablemente dentro de un contexto diferente.

Uno de los tres segmentos ilustrados en la figura A.10.66 (derecha, inferior) fue seleccionado para análisis. La muestra tiene 81,5 x 22,3 mm y un espesor entre 1,5 y 1,9 mm. Las medidas de la flecha son las siguientes: astil (14,6 mm) y lados (9,3 y 10,5 mm). La cabeza circular del remache tiene un diámetro de 16,5 mm; y el otro extremo, de 10 mm. Esta pieza fue retirada del fleje y seccionada de forma axial (Fig. A.10.67).



FIGURA A.10.66 – BARRIL Y ZUNCHOS METÁLICOS.

A la izquierda, ilustramos uno de los barriles de madera con zunchos de cobre (el ancho de los flejes es variable, entre 20 y 25 mm). A la derecha, mostramos los fragmentos de tres zunchos (cara externa). En estos pueden apreciarse las flechas del Almirantazgo, estampadas en cada uno de los aros (detalles al 200 %).

Fotos: N. Ciarlo 2011/13. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

El fleje que da forma al zuncho y el remache que une los extremos de aquel fueron hechos con un material similar (véase más abajo), aunque tienen una microestructura diferente. Ambos presentan una estructura de granos del color característico del cobre, de tamaño variable, con maclas de recocido e inclusiones no metálicas globulares y alargadas. Lo anterior indica que fueron producidos mediante un proceso de deformación plástica (en el primer caso, probablemente mediante laminado; en el segundo, por medio de martillado), que pudo ser o bien en caliente o bien en frío, en este último caso con posterior recocido. Los granos del fleje son considerablemente más grandes que los del remache, lo que sugiere que el primero estuvo sometido a temperatura durante un tiempo más prolongado que el segundo (Fig. A.10.68). Esto apunta a que la manufactura de la plancha o tira con que se hizo el fleje fue en caliente; o, alternativamente, que el material estuvo sujeto a varios recalentamientos durante el proceso.



FIGURA A.10.67 – REMACHE DE COBRE.

Arriba: segmento de zuncho analizado, visto del lado interno (la línea de trazos indica el sector por donde se cortó la muestra); *abajo:* detalles del remache, seccionado para análisis metalográfico.

Fotos: N. Ciarlo 2011/12.

Por otro lado, tanto el fleje como el remache presentan rasgos asociados a la elaboración del zuncho. Por un lado, la deformación que se aprecia en los granos del fleje, en el sector próximo al remache, indica que la perforación del orificio destinado a la colocación de este último fue realizada en frío (e.g. utilizando un punzón) (Fig. A.10.69). El estado de fragmentación que exhiben las inclusiones alongadas en esta área refuerza esto último. Por el otro, el remache no presenta indicios de deformación plástica en frío en la zona de la cabeza, pero sí en el otro extremo, adonde los granos cercanos a la superficie están alongados en sentido perpendicular al eje del astil (Fig. A.10.70). Lo anterior evidencia que el remache fue martillado, también en frío, desde un único lado (el externo, si tenemos en consideración la posición del aro en el barril).

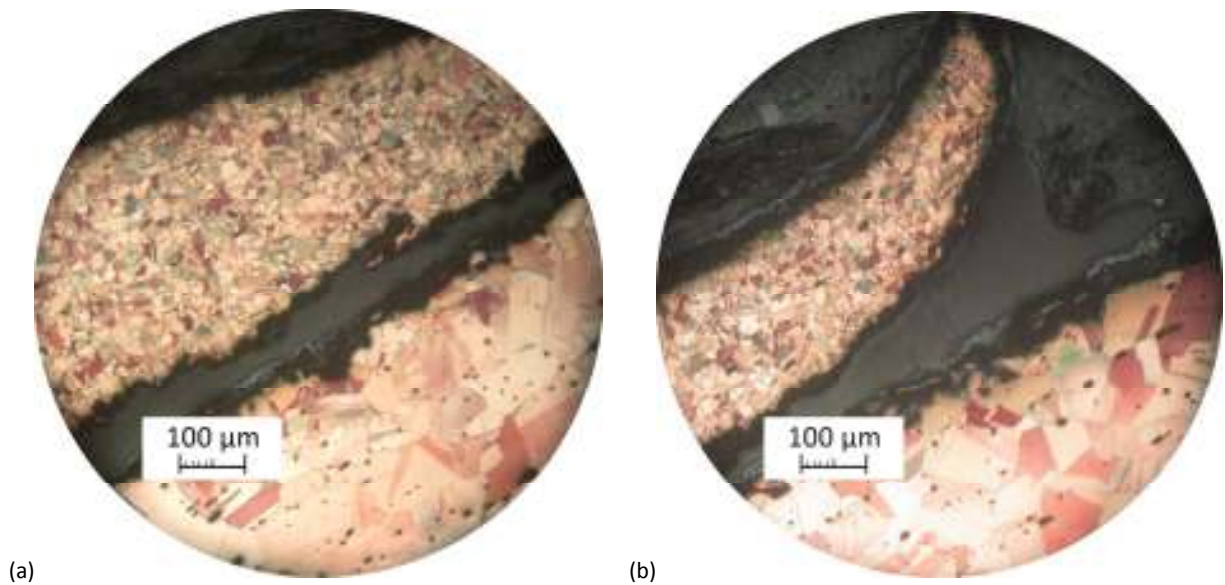


FIGURA A.10.68 – MICROESTRUCTURA DEL FLEJE Y REMACHE (1).

Fotomicrografías de la superficie interna del fleje y de la cabeza del remache, donde se aprecian los granos de cobre de diferente tamaño. Reactivo de ataque: NH_4OH , H_2O_2 , H_2O .

Fotos: N. Ciarlo 2012.

La figura A.10.71 corresponde a imágenes de SEM tomadas en el fleje, en una de las zonas más deformadas próxima al orificio, y en el astil del remache. En ambos casos se aprecian las inclusiones no metálicas alargadas, que en el zuncho aparecen fragmentadas.

El análisis de EDS indicó que el zuncho fue hecho con cobre sin alear, al igual que el remache empleado para unir los extremos del fleje. Estos resultados fueron corroborados mediante OES y AAS (véase la Tabla A.10.2). Es dable mencionar que, entre las muestras de cobre del sitio que fueron analizadas utilizando estas técnicas, es la que presenta mayores tenores de arsénico (>0,410 %).

Por otro lado, algunas de las inclusiones mencionadas se analizaron de forma puntual por medio de EDS. Estas son de dos tipos: 1) de óxido de cobre (mayoritarias); y 2) con alto contenido de bismuto, plomo y arsénico (Fig. A.10.72). Estos elementos también se encuentran presentes en algunas de las inclusiones de óxido de cobre, por lo general en los extremos.

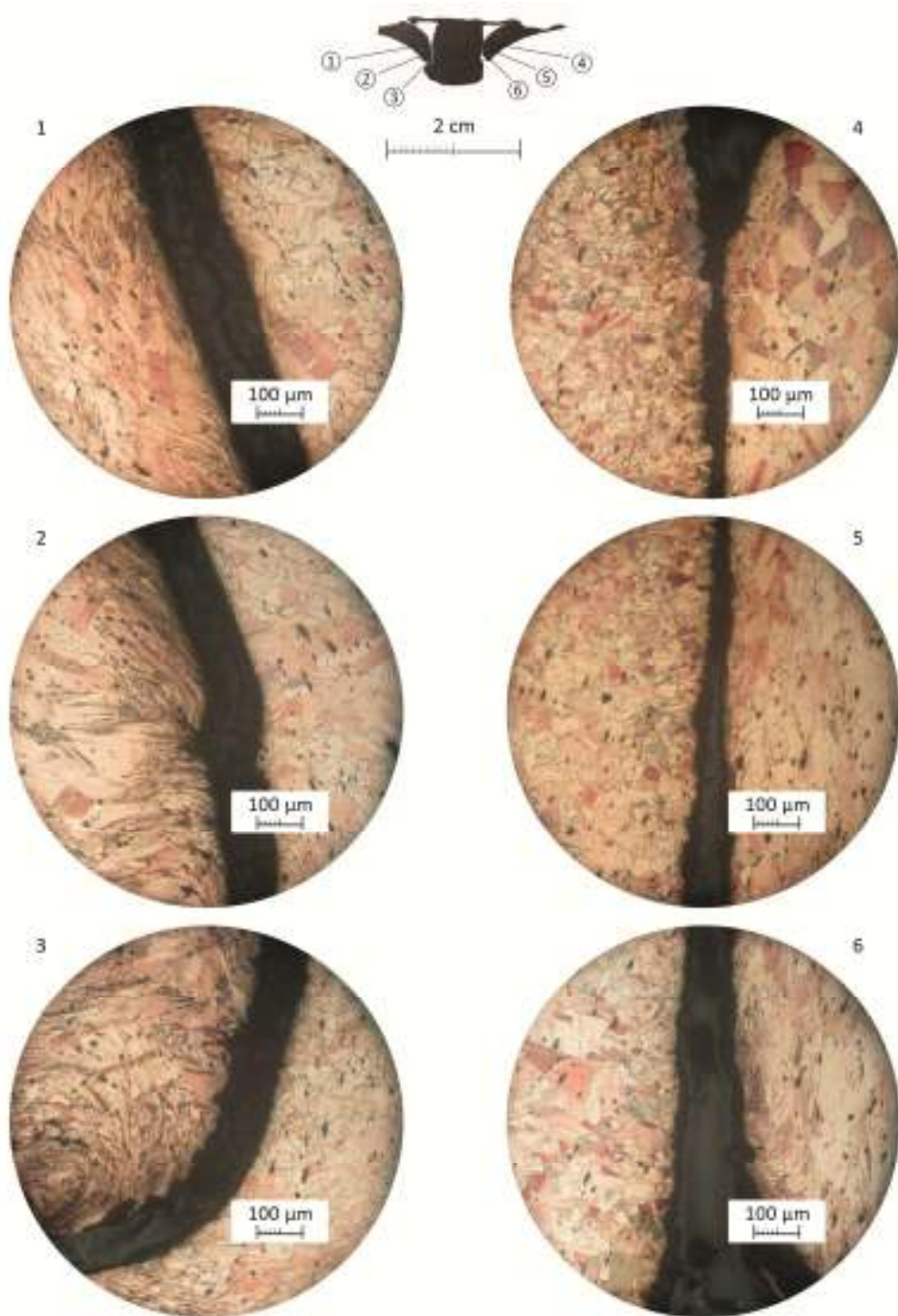


FIGURA A.10.69 – MICROESTRUCTURA DEL FLEJE Y REMACHE (2).

Fotomicrografías de la superficie del fleje, cerca de los bordes del orificio, y del astil del remache. La secuencia muestra la progresiva deformación de la microestructura del fleje, en el sentido en que se realizó el punzonado (en la figura, léase de arriba hacia abajo). Reactivo de ataque: NH_4OH , H_2O_2 , H_2O .

Fotos: N. Ciarlo 2012.

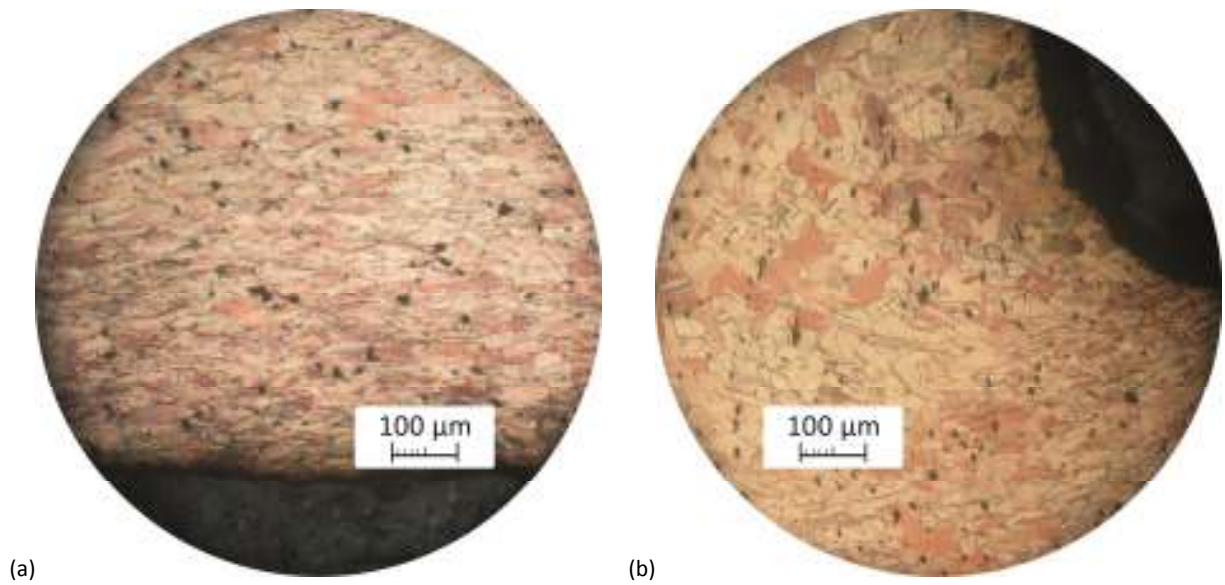


FIGURA A.10.70 – MICROESTRUCTURA DEL FLEJE Y REMACHE (3).

Fotomicrografías de la punta martillada del remache: (a) zona central de la punta; (b) borde de uno de los laterales; nótese la deformación de la punta hacia afuera. Reactivo de ataque: NH_4OH , H_2O_2 , H_2O .

Fotos: N. Ciarlo 2012.

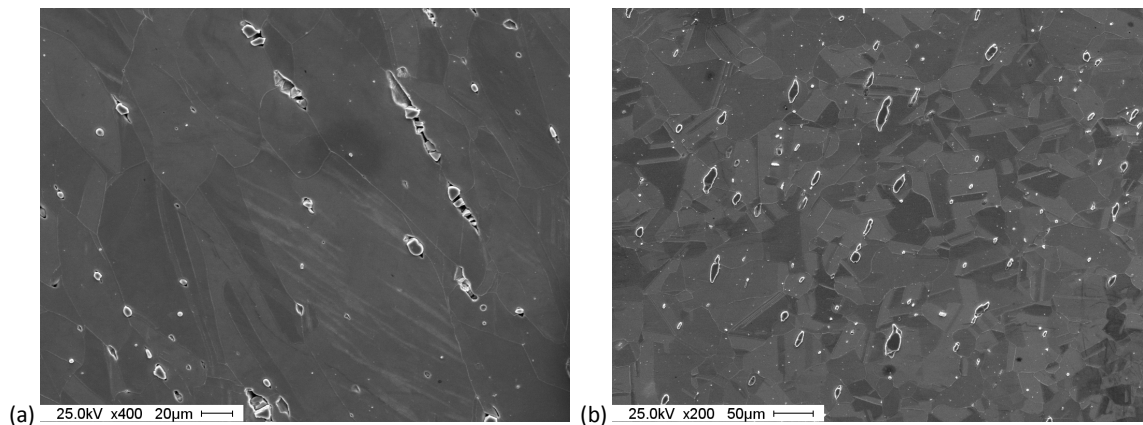


FIGURA A.10.71 – MICROESTRUCTURA DEL FLEJE (A) Y REMACHE (B).

Imágenes SEM del zuncho de cobre: (a) microestructura de granos deformados e inclusiones partidas (sector del fleje próximo al orificio); (b) microestructura de granos equiaxiales y maclas de recocido, con inclusiones alargadas (astil del remache).

Imágenes: G. Maxia 2012. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

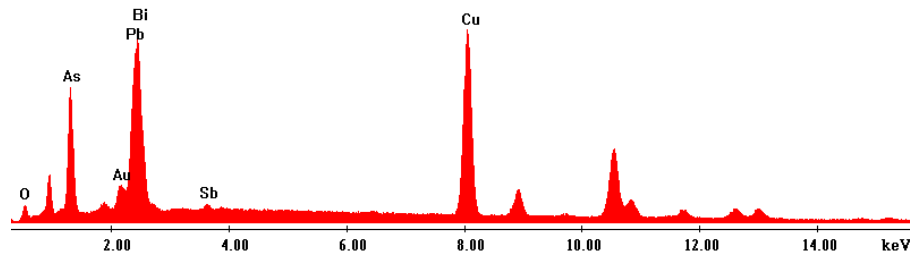


FIGURA A.10.72 – COMPOSICIÓN QUÍMICA DE UNA INCLUSIÓN.

Espectro EDS de una de las inclusiones del remache de cobre, rica en Bi, Pb y As.

Imagen: G. Maxia 2012. Reproducción autorizada, cortesía del INTI-Mecánica.

Planchas con orificios

En el barco se hallaron algunas planchas de cobre, que presentan la particularidad de estar agujereadas (Fig. A.10.73). Estas se encontraban en un sector a popa del palo mesana, en proximidad de la concentración de tachuelas. En función del estado que presentan y dada su ubicación dentro del sitio, en principio se consideraron como retales.

Es posible que las piezas circulares que se obtuvieron de estas chapas hayan sido empleadas como arandelas para tachuelas. Este tipo de discos, colocados en ciertos sectores del revestimiento de forro, habría permitido mejorar la sujeción de las planchas al casco. No obstante, también pudieron ser empleadas para otros fines. Al respecto, en el trabajo de Diaz Arenas sobre el comercio y la navegación de las Islas Filipinas encontramos un dato sugerente. En la sección correspondiente a las monedas españolas, este autor resaltó lo siguiente con respecto a la falsificación de las piezas de cobre (17 cuartos de cobre equivalían a 1 real):

“...alentados los falsificadores con la facilidad que tenían en impender los cuartos, adelgazaron el cobre gradualmente, hasta que en 1831 llamó la atención del Gobierno, á quien se dieron avisos oficiales, por la

gran multitud de cuartos falsos de todos gruesos que habia en circulacion, mucha parte de ellos *cortados simplemente de las planchas de cobre para forro de buques*, tan delgados que dos ó tres juntos no tenian el espesor de uno de los acuñados por el Ayuntamiento (Diaz Arenas 1838:45; la cursiva es personal).



FIGURA A.10.73 – PLANCHA RECORTADA.

Plancha de revestimiento, con recortes circulares. Nótese la presencia de pequeños orificios, utilizados para la fijación de la plancha. El diámetro aproximado de los discos es ca. 26 mm.

Foto: N. Ciarlo 2011. Reproducción autorizada, cortesía del CASC-MAC.

Cualquiera haya sido el uso dado a los discos, fueron obtenidos de planchas de aforro. Así lo atestiguan los orificios cuadrangulares (para tachuelas) que exhiben los restos recortados (véase la Fig. A.10.73). Con fines analíticos, se escogió un fragmento de chapa, con parte de tres recortes circulares. La muestra tiene un espesor entre 0,8 y 1 mm. El análisis de composición química por medio de OES y AAS indicó que la chapa fue hecha con cobre sin alear. Entre los elementos traza, cabe notar la presencia de Bi 0,201 % y As 0,363 % (véase la Tabla A.10.2).

Tablas

TABLA A.10.1 – DIMENSIONES DE LOS PERNOS DE LA FIGURA A.10.2.

Perno	Dimensiones (mm)			Cabeza	Punta	Comentarios
	L	Astil d. máx.	d. mín.			
a	136	16	14	34,5	5,5 x 11	Perno corto, no pasante. Punta en forma de cuña.
b	224	20,5	20	23	11	Perno mediano, no pasante.
c	212	20	19,5	37,5	–	Perno mediano. El astil parece estar quebrado.
d	383	22	21	35	11	Perno largo, no pasante. La cabeza está muy deformada por el martillado.
e	517,5	20,5	19	25	–	Perno largo, pasante. El astil parece estar quebrado.

Referencias:

L: Largo.

d. máx.: Diámetro máximo.

d. mín.: Diámetro mínimo.

TABLA A.10.2 – COMPOSICIÓN QUÍMICA GLOBAL DE LAS MUESTRAS DE COBRE Y ALEACIÓN DE COBRE.

Artefacto	Análisis	Elementos (% en peso)									
		<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>As</i>	<i>Sb</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>Ag</i>
Cobre											
Perno No. 1	OES, AAS	99,4	0,008	0,026	0,033	0,057	0,387	0,033	0,003	0,020	0,068
Perno No. 2	OES, AAS	99,3	0,010	0,024	0,027	0,050	0,374	0,038	0,011	0,029	0,080
Zuncho de barril	OES, AAS	99,4	0,014	<0,003	0,037	0,082	>0,410	0,023	0,002	0,018	0,085
Plancha perforada	OES, AAS	99,3	0,009	<0,003	0,007	0,201	0,363	0,018	0,004	0,003	0,085
Aleación de cobre											
Arandela de perno	OES, AAS	93,5	0,190	4,700	0,550	0,131	>0,480	0,049	0,105	0,040	0,095
Clavo de tabla de forro	AAS	Resto	6,700	3,400	4,700	0,060	0,130	0,019	0,020	–	–
Clavo pequeño	AAS	Resto	7,700	9,950	2,250	<0,008	0,190	0,220	0,320	–	–

Referencias:

Cu (cobre); Sn (estaño); Zn (zinc); Pb (plomo); Bi (bismuto); As (arsénico); Sb (antimonio); Fe (hierro); Ni (níquel); Ag (plata).

<, > (el valor detectado se encuentra, respectivamente, por debajo o por encima del límite de detección del equipo).

– (no se detectó; el valor es despreciable).

TABLA A.10.3 – COMPOSICIÓN QUÍMICA (MEDIANTE EDS) DE LAS TACHUELAS ESTUDIADAS.¹

No.	Tipo	Código	Cu	Sn	Pb	Zn	Fe
1	I	Q1/2B M1	87,5	10,8	0,6	0,6	0,5
2	I	Q1/2B M2	85,6	12,1	0,9	0,8	0,5
3	I	Q1/2B M3	86,0	11,2	0,9	0,9	1,0
4	I	Q1/2B M4	89,4	9,6	0,8	–	<0,5
5	I	Q2/3B M1	86,8	10,8	0,8	1,1	0,5
6	I	Q5/6B M1	86,7	9,0	2,1	1,9	<0,5
7	I	Q5/6B M2	87,4	8,3	2,2	1,9	<0,5
8	I	Q5/6B M3	85,8	11,4	1,0	1,1	0,7
9 ²	I	Q5/6B M4	86,6	10,7	0,9	1,1	0,7
10 ²	I	Q5/6B M4	86,8	10,6	0,9	1,0	0,7
11	I	Q8/9B M1	86,6	8,6	2,3	2,2	<0,5
12	I	Q8/9B M2	85,9	8,1	2,6	3,2	<0,5
13	I	Q8/9B M3	85,2	12,0	1,4	0,6	0,8
14	I	Q8/9B M4	86,6	11,4	0,9	0,7	0,5
15	I	Q8/9B M5	87,1	8,2	2,6	1,9	<0,5
16	I	Q8/9B M11	86,2	7,9	2,3	3,4	<0,5
17	I	SI-1 M1	87,4	9,3	1,0	1,1	1,2
18	I	SI-2 M4	87,5	10,6	0,9	0,6	<0,5
19	I	SI-3 M1	89,6	8,4	0,7	0,8	0,5
20	I	SI-3 M2	92,0	7,8	–	–	<0,5
21	I	SI-3 M3	88,1	9,6	1,0	0,5	0,8
22	I	SI-3 M4	86,5	7,8	2,3	3,1	<0,5
23	I	SI-3 M5	85,4	12,3	1,0	0,8	0,6
24	II	Q8/9B M6	91,7	5,3	2,1	0,7	<0,5
25	II	Q8/9B M8	90,3	6,1	1,8	1,7	<0,5

Referencias:

1. Para cada ejemplar se reporta la media de cinco réplicas (mediciones).

2. Tachuelas unidas.

SI. Lote sin identificación de procedencia.

– (no se detectó; el valor es despreciable).

TABLA A.10.4 – CORRESPONDENCIA TACHUELAS-GRUPOS, A PARTIR DEL ANÁLISIS CONJUNTO DE COMPONENTES PRINCIPALES Y EL DENDROGRAMA JERÁRQUICO.

Grupo	Subgrupo	Tachuela
A	a ₁	24, 25
	a ₂	6, 7, 11, 12, 15, 16, 22
	b ₁	20
B	b ₂	1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 13, 14, 17, 18, 19, 21, 23

TABLA A.10.5 – COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS TACHUELAS, CORRESPONDIENTE A LOS SUBGRUPOS PRESENTADOS EN LA TABLA ANTERIOR.¹

Subgrupo	Cu	Sn	Pb	Zn	Fe
a ₁	92,0 / 90,1	6,2 / 5,1	2,2 / 1,7	1,9 / 0,7	<0,5
a ₂	87,7 / 85,6	9,2 / 7,6	2,9 / 1,9	3,4 / 1,8	<0,5
b ₁	92,2 / 91,8	8,0 / 7,6	–	–	<0,5
B ₂	90,0 / 85,1	12,5 / 8,1	1,5 / 0,6	máx. 1,2	máx. 1,3

Referencias:

1. Los valores de cada elemento están expresados en porcentaje en peso (máximo y mínimo).

– (no se detectó; el valor es despreciable).

TABLA A.10.6 – COMPOSICIÓN QUÍMICA (EDS) DE LAS BALAS DE MOSQUETE.

Muestra	Barril	Pb	Sn
AC	2009–A	97,5	2,5
AG	2009–B	97	3
AN	2010–1	100	–
AP	2010–2	100	–
AW	2010–3	100	–
BA ¹	2010–4	100	–

Referencias:

1. El análisis se realizó sobre la superficie exterior de la bala (antes de la limpieza).

– (no se detectó; el valor es despreciable).

Referencias bibliográficas

Fuentes primarias

Las referencias de manuscritos inéditos, procedentes de archivos históricos, están ubicadas a lo largo del texto, al pie de página. Aquí citamos únicamente las fuentes primarias publicadas del siglo XVIII y primera mitad del siglo XIX.

AA.VV.

1790. *Mercurio de España, octubre de 1790*. Imprenta Real, Madrid.

ALMIRANTE, José

1869. *Diccionario militar: etimológico, histórico, tecnológico, con dos vocabularios francés y alemán*. Imprenta y Litografía del Depósito de la Guerra, Madrid.

BLACKBURN, Isaac

1817. *A Treatise on the Science of Ship-Building; with observations on the British Navy*. James Asperne, Londres.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352409X15301899>

BLANCKLEY, Thomas R.

1750. *A naval expositor: shewing and explaining the words and terms of art belonging to the parts, qualities, and proportions of building, rigging, furnishing, & fitting a ship for sea*. E. Owen, Londres. Disponible en: acms.sl.nsw.gov.au/album/albumView.aspx?itemID=1027021&acmsid=0 (Acceso marzo de 2015).

BONAPARTE, Napoleón-Louis

1836. *Manuel d'Artillerie a l'usage des officiers d'artillerie de la République Helvétique*. Anselin, Paris.

BOUGUER, Pierre

1746. *Traité du Navire, de sa Construction, et de ses mouvemens*. Charles-Antoine Jombert, París.

CAMPBELL, John

1818. *The Naval History of Great Britain*, 8 vols. Publicado por Balwdyn et al., Londres.

CASSANI, José

1705. *Escuela militar de fortificación ofensiva y defensiva. Arte de fuegos y de escuadronar*. Antonio González de Reyes, Madrid.

CHAMBAUD, Lewis y Jean-Thomas H. DES CARRIÈRES

1815. *A New Dictionary English and French, and French and English*, vol. 2. 5a. ed. (primera edición de 1761), Cadell & Davis, Londres.

CHURRUCA, Cosme D. de

1805. *Instrucción sobre punterías, para el uso de las baxeles del Rey*. Imprenta Real, Madrid.

CISCAR, Francisco

1830. *Cartilla de Artillería de Marina*. Imprenta Real, Madrid.

CREUZE, Augustin F. B.

1841. *Treatise on the Theory and Practice of Naval Architecture*. Adam y Charles Black, Edimburgo, Reino Unido.

D'ALEMBERT, Jean le Rond

[1751] 1984. *Discurso preliminar de la Enciclopedia*. Ediciones Orbis, Buenos Aires.

DEGÉRANDE, Joseph-Marie

[1800] 1991. Consideraciones acerca de los varios métodos a seguir en la observación de los pueblos salvajes. En: Cristina Bilbao (comp.), *La ciencia del hombre en el siglo XVIII. Jauffret, Cuvier, Degérando y otros*, pp. 73-120. Centro Editor de América Latina, Buenos Aires.

DE LOS RÍOS, Vicente

1767. *Discurso sobre los ilustres autores é inventores de Artillería, que han florecido en España, desde los Reyes Catholicos hasta el presente*. Joachin Ibarra, Madrid.

DE MORLA, Tomás

1784. *Tratado de Artillería para el uso de la Academia de Caballeros Cadetes del Real Cuerpo de Artillería*, 4 tomos. Imprenta de Don Antonio Espinosa, Segovia.

——— 1803. *Láminas pertenecientes al Tratado de Artillería que se enseña en el Real Colegio Militar de Segovia*, tomo 4. Imprenta Real, Madrid.

——— s/año. *Colección de la explicaciones de las láminas del Tratado de Artillería para el uso de la Academia de Caballeros Cadetes del expresado Real Cuerpo*. [Este anexo a la segunda edición del *Tratado de Artillería*, publicada en 1816, contiene una explicación extendida de las láminas que aparecen en el tomo 4].

DE SALAS, Ramón

1833. *Prontuario de Artillería para el servicio de campaña*. 2a. ed. (primera edición de 1828), E. Aguado, Madrid.

DÍAZ ARENAS, Rafael

1838. *Memoria sobre el comercio y navegación de las Islas Filipinas*. Imprenta de D. Domingo Féros, Cádiz.

DÍAZ INFANTE, José

1762. *Compendio de Artillería para el servicio de Marina*. 2a. ed. (primera edición de 1754), Francisco Sánchez Reciente, Sevilla, España.

DIDEROT, Denis y Jean le Rond D'ALEMBERT (eds.)

1751-1772. *Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, etc.* ARTFL Encyclopédie Project (edición 2013), Robert Morrissey (ed.), University of Chicago, EE.UU. Disponible en: encyclopedia.uchicago.edu (Acceso marzo de 2014).

————— 1763. *Recueil de planches sur les sciences, les arts libéraux, et les arts mécaniques, avec leur explication*, vol. 2 (segunda parte). Publicado por Briasson et al., París.

————— 1765. *Recueil de planches sur les sciences, les arts libéraux, et les arts mécaniques, avec leur explication*, vol. 3. Publicado por Briasson et al., París.

————— 1767. *Recueil de planches sur les sciences, les arts libéraux, et les arts mécaniques, avec leur explication*, vol. 4. Publicado por Briasson et al., París.

————— 1769. *Recueil de planches sur les sciences, les arts libéraux, et les arts mécaniques, avec leur explication*, vol. 7. Publicado por Briasson y Le Breton, París.

DOMINGUEZ VICENTE, Joseph M.

1770. *Ilustración y continuación a la Curia Philipica, y corrección de las citas que en ella se hallan erradas: trátase del comercio marítimo*. Imprenta de Francisco Berton, Valencia, España.

DUFIEF, Nicolas Gouin

1810. *A New Universal and Pronouncing Dictionary of the French and English Languages*, vol. 3. T & G. Palmer, Philadelphia, EE.UU. [Este volumen contiene en primer lugar dos secciones, tituladas 'Dictionary of Sea Terms and Phrases, French and English'; y 'Dictionary of Sea Terms and Phrases, English and French'].

DUHAMEL DU MONCEAU, Henri-Louis

1747. *Traité de la fabrique des manoeuvres pour les vaisseaux, ou l'art de la corderie perfectionné*. De l'Imprimerie Royale, París.

————— 1758. *Éléments de l'architecture navale, ou traité pratique de la construction des vaisseaux*. 2a. ed. (primera edición de 1752). Charles-Antoine Jombert, París.

————— 1764. *The Elements of Naval Architecture, or A Practical Treatise on Ship-Building*. Versión cuidadosamente condensada por Mungo Murray. A. millar, Londres.

EGAÑA, Bernabé Antonio de

1788. *Continuación de la memoria, que sobre las fabricas de anclas, de palanquetas, de baterias de fierro, la fanderia y otros establecimientos de la Provincia de Guipuzcoa, diò à lùz Don Juan Antonio Enriquez*. Don Francisco de La Lama, Tolosa, España [Obra original perteneciente a los fondos bibliográficos del Parlamento Vasco].

FALCONER, William

1780. *An universal dictionary of the marine: or, A copious explanation of the technical terms and phrases employed in the construction, equipment, furniture, machinery, movements, and military operations of a ship*. T. Cadell, Londres.

GAUTIER, Francisco

1769. Reglamento de madera de Roble necesarias para fabricar un Navío de 70 cañones. Documento MPD, 41, 033bis, Archivo General de Simancas, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Simancas, Valladolid, España. Ms.

GOWER, Erasmus

1803. *An account of the loss of his majesty's sloop Swift, in Port Desire on the Coast of Patagonia on the 18th of March, 1770*, Winchester and Son, Londres.

GRIBEAUVAL, Jean-Baptiste Vaquette de

1792. *Tables des constructions des principaux attirails de l'artillerie proposées ou approuvées depuis 1764, jusqu'en 1789*. Règlement concernant les fontes et les constructions de l'artillerie de France, tomo 3. París.

JAUFFRET, Louis-François

[1800] 1991. Introducción a las memorias de la Sociedad de los Observadores del Hombre. En: Cristina Bilbao (comp.), *La ciencia del hombre en el siglo XVIII. Jauffret, Cuvier, Degérando y otros*, pp. 27-43. Centro Editor de América Latina, Buenos Aires.

JOHNSON, Samuel

[1758] 2003. *La visión de los buitres acerca del hombre*. En: Pablo Massa y Federico H. Lafuente (traducción, prólogo y notas), *Samuel Johnson (1709-1784). Pensamientos acerca de las últimas negociaciones relativas a las Islas Malvinas y otros escritos*, pp. 75-77. Proyecto Editorial, Buenos Aires.

——— [1771] 2003. *Pensamientos acerca de las últimas negociaciones relativas a las Islas Malvinas*. En: Pablo Massa y Federico H. Lafuente (traducción, prólogo y notas), *Samuel Johnson (1709-1784). Pensamientos acerca de las últimas negociaciones relativas a las Islas Malvinas y otros escritos*, pp. 27-60. Proyecto Editorial, Buenos Aires.

JUAN, Jorge

1793. *Exámen Marítimo teórico práctico, ó tratado de Mecánica aplicado á la construccion, conocimiento y manejo de los navíos y demas embarcaciones*, tomo 1. Edición segunda, aumentada por Gabriel Císcar. Imprenta Real, Madrid.

KITCHIN, Thomas

1790a. A new map of the Kingdom of France divided into its governments, with all the post roads according to the latest description. *A general atlas, describing the whole universe: being a complete collection of the most approved maps extant*. Robert Sayer, Londres.

——— 1790b. A new map of the Kingdoms of Spain and Portugal, with their principal divisions. *A general atlas, describing the whole universe: being a complete collection of the most approved maps extant*. Robert Sayer, Londres.

KITCHIN, Thomas, Robert LAURIE y James WHITTLE

1804. Great Britain and Ireland. Drawn from the best surveys &c. by Thos. Kitchin, Geographer. London, Published by Laurie & Whittle, 53 Fleet Street. 12th May 1794. *A new universal atlas, exhibiting all the empires, kingdoms, states, republics, &c. &c. in the whole World*. 6a. ed., R. Laurie y J. Whittle, Londres.

KNOWLES, John

1821. *An inquiry into the means which have been taken to preserve the British Navy, from the earliest period to the present time*. Winchester & Varnham, Londres.

LE SECQ DE CREPY, Jean François

1848. *Curso de instrucción especial de artillería*. Traducido al castellano por D. Justo Arteaga (primera edición en francés de 1837). Imprenta del Siglo, Santiago de Chile.

MARITZ, Jean

[1758] 1987. *Artillerie de la Marine*. Ediciones Omega, Niza, Francia.

MARTINEZ DE ESPINOSA Y TACÓN, Juan J.

1849. *Diccionario Marino. Inglés-Español. Para el uso del Colegio Naval*. Imprenta de J. Martín Alegría, Madrid.

MATHIEU, Charles L.

1810. Code des mines, ou Recueil des lois et règlements tant anciens que modernes, y compris la nouvelle loi du 21 avril 1810 concernant les mines... et les motifs de cette loi, par M. le Cte Regnaud de Saint-Jean d'Angely... précédé d'une instruction sur la recherche, la découverte et l'exploitation des mines... par C.-L. Mathieu. L'Huillier, Paris.

MOORE, L. L.

1801. *The British mariner's vocabulary*. Publicado por J. Cundee et al., Londres.

MULLER, John

1768. *A Treatise of Artillery*. 2a. ed. (primera edición de 1757), John Millan, Londres.

MURRAY, Mungo

1754. *A Treatise on Ship-Building and Navigation*. D. Henry y R. Cave, Londres.

MUSHET, David

1836. On the immersion of copper for bolts and ship sheathing in muriatic acid, as a test of its durability. *Journal of the Franklin Institute* 22 (1):53-55.

MUSHET, Robert

1825. Patent alloyed copper for sheathing ships. En: *Register of the Arts and Sciences*, vol. 2, p. 99. G. Hebert, Londres.

NICHOLSON, William

1809. *The British Encyclopedia, or Dictionary of Arts and Sciences*, vol. 4 (I - N). Whittingham, Londres.

O'SCANLAN, Timoteo

1829. *Cartilla práctica de construcción naval, dispuesta en forma de vocabulario*. Impresa por Don Miguel de Burgos, Madrid.

————— 1831. *Diccionario marítimo español*. Imprenta Real, Madrid.

PERING, Richard

1819. *A Treatise on the Anchor*. Congdon & Hearle, Londres.

POPE, Christopher

1825. Pope's patent metallic sheathing. En: *Register of the Arts and Sciences*, vol. 2, pp. 213-214. G. Hebert, Londres.

PROUST, Joseph L.

1795. *Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia, ó Coleccion de Memorias sobre las artes, la artillería, la historia natural de España y Americas, la docimastica de sus minas, &c.*, tomo 2. D. Antonio Espinosa, Segovia, España.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA

1734. *Diccionario de la lengua castellana, en que se explica el verdadero sentido de las voces, su naturaleza y calidad, con las frases o modos de hablar, los proverbios o refranes, y otras cosas convenientes al uso de la lengua [...]*. Compuesto por la Real Academia Española. Tomo cuarto. Que contiene las letras G.H.I.J.K.L.M.N. Imprenta de la Real Academia Española, por los herederos de Francisco del Hierro, Madrid.

REÁUMUR, René-Antoine F.

1722. *L'Art de convertir le fer forgé en acier et L'art d'adoucir le fer fondu ou de faire des ouvrages de fer fondu aussi finis que le fer forgé*. Michel Brunet, París.

REÁUMUR, René-Antoine F., de y Henri-Louis DUHAMEL DU MONCEAU

[1764] 1993. *Fabrique des Ancres*. Dossier ANCRE, vol. 1. Pharos Books, San Remo, Italia. [Réaumur leyó su trabajo en 1723 y, hacia 1760, Duhamel hizo algunas notas adicionales. La edición de Pharos es un facsímil de la publicación original, de 1764].

ROBINS, Benjamin

[1742] 1805. *New Principles of Gunnery: containing the determination of the force of gunpowder, and an investigation of the difference in the resisting power of the air to swift and slow motions (a new edition)*. F. Wingrave, Londres.

ROVIRA, Francisco X.

1773. *Tratado de Artillería para el uso de los Caballeros Guardias Marinas en su Academia, dedicado á la inmortal memoria del Excelentísimo Sr. D. Jorge Juan*. Academia de Caballeros de Guardias Marinas, Cádiz, España.

————— 1787. *Compendio de Matemáticas, dispuesto para las Escuelas del Real Cuerpo de Artillería de Marina*, tomo 4 (De la artillería de mar y tierra). Academia de Caballeros de Guardias Marinas, Cádiz, España.

ROYAL NAVY

[1778] 2004. *Exercise of the small arms and great guns, for the seamen on board His Majesty's ships*. The Naval & Military Press Ltd., East Sussex, Reino Unido.

SELLER, John

1691. *The Sea-Gunner: Shewing the Practical Part of Gunnery, as it is Used at Sea*. H. Clark, Londres.

SIMMONS, Robert

1812. *The Sea-Gunner Vade-Mecum*. Steel and Co., Londres.

SMITH, Adam

[1776] 2010. *Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*. Fondo de Cultura Económica, México, D. F.

STEEL, David

1794. *The Elements and Practice of Rigging and Seamanship*. David Steel, Londres.

——— 1805. *The Shipwright's Vade-Mecum: A Clear and Familiar Introduction to the Principles and Practice of Ship-Building*. P. Steel, Londres.

SUCHET, Louis-Gabriel

1829. *Memorias del Mariscal Suchet, Duque de Albufera, sobre sus campañas en España, desde el año 1808 hasta el 1814, escritas por él mismo*, tomo 4. Imprenta de Gaultier-Laguionie, París.

SUTHERLAND, William

1717. *Britain's Glory: or, Ship-Building Unvail'd. Being a General Director, for Building and Compleating the Said Machines*. Tho. Norris, Londres.

SWEDENBORG, Emanuel

1734. *Regnum subterraneum sive minerale de ferro*, 3 vol. Friederici Hekelii, Dresden, Alemania.

THOMSON, Thomas

1813. *Travels in Sweden, during the autumn of 1812*. Robert Baldwin, Londres

VIAL DU CLAIRBOIS, Honoré-Sébastien

1783-1787. *Encyclopédie méthodique. Marine, dédiée et présentée a monseigneur le maréchal de Castries, ministre et secrétaire d'État au département de la marine, &c.* 3 tomos. C. J. Panckoucke, París.

WILKINSON, J. J.

1844. On Iron Sheathing, broad-headed Nails, and Inner Sheathing for Ships. En: *Institution of Civil Engineers Minutes of Proceedings*, vol. 2, pp. 168-170. Longman & Co., Londres.

Fuentes secundarias

AA.VV. 2004

2004a. Introduction to Structures in Metals. En: George F. Vander Voort (ed.), *ASM Handbook*, vol. 9 (Metallography and Microstructures), pp. 23-28. ASM International, EE.UU.

————— 2004b. Glossary of Terms. En: George F. Vander Voort (ed.), *ASM Handbook*, vol. 9 (Metallography and Microstructures), pp. 1115-1134. ASM International, EE.UU.

AA.VV.

2015. *El último viaje de la Fragata Mercedes. La razón frente al expolio. Un tesoro cultural recuperado*. Museo Naval y Museo Arqueológico Nacional, España. Disponible en: <https://sede.educacion.gob.es/publiventa> (Acceso diciembre de 2015).

ADAMS, Jonathan

2001. Ships and boats as archaeological source material. *World Archaeology* 32 (3):292-310.

————— 2003. *Ships, Innovation and Social Change. Aspects of carvel shipbuilding in northern Europe 1450-1850*. Stockholm Studies in Archaeology 24, Stockholm Marine Archaeology Reports 3, pp. 48-174. Stockholm.

AIBAR, Eduardo

1996. La vida social de las máquinas: orígenes desarrollo y perspectivas actuales en la Sociología de la Tecnología. *Reis* 76:141-170.

ALCALÁ-ZAMORA, José

1999. Aportación a la historia de la siderurgia española. En: *Hierro al mar*, pp. 72-84. Instituto de Estudios Cántabros y Asociación Tajamar, Cantabria, España.

————— 2004. *Liérganes y La Cavada. Historia de los primeros altos hornos españoles (1622-1834)*. 2a. ed. (primera edición de 1974), Biblioteca Cantabria, vol. 22. Librería Estvdio, Santander, España.

ALDAZABAL, Verónica B. y María A. CASTRO

2003. El estudio anatómico estructural aplicado a arqueología. La construcción de canoas monóxilas en el delta bonaerense. *Actas del XIII Congreso Nacional de Arqueología Argentina*, vol. 3, pp. 129-135. Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.

ALLEN, Douglas W.

2002. The British Navy Rules: Monitoring and Incompatible Incentives in the Age of Fighting Sail. *Explorations in Economic History* 39:204-231.

ALLEN, Robert C.

2006. The British Industrial Revolution in Global Perspective: How Commerce Created the Industrial Revolution and Modern Economic Growth. Universidad de Oxford, Reino Unido. Disponible en: www.nuffield.ox.ac.uk/users/allen/unpublished/econinvent-3.pdf (Acceso marzo de 2015).

ALONSO VILLALOBOS, Carlos, Lourdes MÁRQUEZ CARMONA, A. VALIENTE ROMERO y D. BENÍTEZ LÓPEZ
2010. El conocimiento del patrimonio arqueológico subacuático desde la perspectiva de las fuentes documentales. *Revista Patrimonio Histórico* 73:112-125.

AMENEDO COSTA, Mónica

2012. Importación de cañones en el Ferrol del siglo XVIII: fuentes británicas para su estudio. *Oceánide* 4. Disponible en: <http://oceanide.netne.net/articulos/art4-3.pdf> (Acceso marzo de 2015).

AMER, Christopher F.

1986. The Construction of the Browns Bay Vessel. Tesis de Maestría, Texas A&M University, College Station, EE.UU. Disponible en: nautarch.tamu.edu/academic/alum.htm (Acceso marzo de 2015).

ANDERSON, Richard K.

1988. *Guidelines for recording historic ships*. Historic American Buildings Survey / Historic American Engineering Record, National Park Service, Washington, D.C.

ARANO RECIO, Diana E.

2010. *Manual de preservación de bienes culturales muebles manufacturados en hierro*. Centro de Investigación en Corrosión, Universidad Autónoma de Campeche, México.

ARCHIVALD, E. H. H.

1971. *The Wooden Fighting Ship in the Royal Navy, AD 897-1860*. Arco Publishing Company, Inc., Nueva York, EE.UU.

ARGÜESO, Amaru, Dolores ELKIN y Damián VAINSTUB

2004. "El ancla de Colonia": un aporte al estudio y preservación del patrimonio cultural del Río de la Plata. *Actas del X Congreso Uruguayo de Arqueología: La Arqueología Uruguaya ante los desafíos del nuevo siglo* (formato CD). Montevideo, Uruguay.

ARTIÑANO Y DE GALDÁCANO, Gervasio de

1920. *La arquitectura naval española (en madera)*. Oliva de Vilanova, Barcelona.

ASHKENAZI, D., D. CVIKEL, N. IDDAN, E. MENTOVICH, Y. KAHANOV y M. LEVINSHTEIN

2011. Archaeometallurgical study of the brass cases from the Akko 1 shipwreck. *Journal of Archaeological Science* 38:2410-2419.

ASHKENAZI, D., D. CVIKEL, A. STERN, A. PASTERNAK, O. BARKAI, A. ARONSON e Y. KAHANOV

2014. Archaeometallurgical Investigation of Joining Processes of Metal Objects from Shipwrecks: Three Test Cases. *Metallography, Microstructure, and Analysis* 3:349-362.

ASHTON, Thomas S.

1996. *La Revolución Industrial*. 2a. ed. (primera edición en inglés de 1948). Breviarios No.25. Fondo de Cultura Económica, México.

ASKELAND, D. R. y P. P. PHULÉ

2004. *Ciencia e ingeniería de los materiales*. International Thomson Editores, S. A., México.

ASTM E 7 – 03. Standard Terminology Relating to Metallography. ASTM International, EE.UU.

ASTM E 407 – 07. Standard Practice for Microetching Metals and Alloys. ASTM International, EE.UU.

BABINI, José

1971. *El siglo de las luces: ciencia y técnica*. Centro Editor de América Latina, Buenos Aires.

BABITS, Lawrence E. y Hans VAN TILBURG (eds.)

1998. *Maritime Archaeology. A reader of substantive and theoretical contributions*. The Plenum Series in Underwater Archaeology. Plenum Press. Nueva York, EE.UU.

BAIG I ALEU, Marià

2008. Teoría matemática y práctica naval en la Ilustración: Salvador Jiménez Coronado, traductor de la obra de Euler sobre la construcción y la maniobra de los navíos. *Quaderns d'Història de l'Enginyeria* 9:249-277

BÁRCENAS, Ramón

2002. Contexto de descubrimiento y contexto de justificación: un problema filosófico en la investigación científica. *Acta Universitaria* 12 (2):48-57.

BAYLEY, Justine, David DUNGWORTH y Sarah PAYNTER (eds.)

2001. *Archaeometallurgy*. Centre for Archaeology Guidelines, English Heritage Publications. Reino Unido.

BASS, George F.

2011. The Development of Maritime Archaeology. En: Alexis Catsambis, Ben Ford y Donny L. Hamilton (eds.), *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology*, pp. 3-22. Oxford University Press, Oxford, EE.UU.

BASTIDA, Ricardo, Dolores ELKIN, Mónica GROSSO, María TRASSENS y Juan P. MARTIN

2004. The British sloop of war HMS *Swift* (1770): a case study of the effects of biodeterioration on the underwater cultural heritage of Patagonia. *Corrosion Reviews* 22 (5-6):417-440.

BASTIDA, Ricardo, Mónica GROSSO y Dolores ELKIN

2008. The role of benthic communities and environmental agents in the formation of underwater archaeological sites. En: Margaret E. Leshikar-Denton y Pilar Luna Erreguerena (eds.), *Underwater and Maritime Archaeology in Latin America and the Caribbean*, pp. 173-185. Left Coast Press, California, EE.UU.

BATAILLE, Louis y Marcel BRUNET

1937. *De la quille à la pomme du mât: dictionnaire de marine anglais-allemand-espagnol-italien établi d'après l'ancien dictionnaire du capitaine Paasch*. Société d'Éditions Géographiques, Maritimes et Coloniales, Paris.

BECKER, Howard

2011. *Manual de escritura para científicos sociales*. Siglo XXI, Buenos Aires.

BELL, Sam y Peta KNOTT

2010. In Search of Historic Anchors. *Newsletter of the Australasian Institute for Maritime Archaeology* 29 (1):8-9.

BEQUETTE, Kathryne E.

1996. The HMS *Proselyte* Project: Survey of an Eighteenth-Century British Frigate in Great Bay, Sint Maarten. En: Stephen R. James, Jr. y Camille Stanley (eds.), *Underwater Archaeology*, pp. 73-75. The Society for Historical Archaeology, EE.UU.

BERGER, Daniel

2011. Metallographic Methods in Archaeology. *Praktische Metallographie* 48 (3):151-166.

BERTOLINO, Silvana, Roxana CATTÁNEO y Andrés D. IZETA (eds.)

2010. *La arqueometría en Argentina y Latinoamérica*. Editorial de la Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

BETHENCOURT, Manuel

2008/9. Adaptation of Archaeometry Techniques to the Study of 18th- to 20th-century Copper Sheathing in Ships. *Historical Metallurgy Society (HMS) News* 70:3-4.

——— 2010. Caracterización de forro, pecio de Camposoto. Laboratorio de Ensayos, Corrosión y Protección, Dpto. Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. San Fernando, Andalucía, España. Ms.

BETHENCOURT, Manuel, María L. A. GIL, María C. FERNÁNDEZ-LORENZO y Alberto SANTOS

2004. Aplicación de tratamiento electroquímico a baja intensidad de corriente para la extracción de cloruros en objetos arqueológicos de hierro de procedencia subacuática. Observación de la evolución de fases mineralógicas mediante XRD-*Rietveld*. *Revista de Metalurgia* 40 (6):420-425.

BETHENCOURT, Manuel, Miguel Á. HERNÁNDEZ, Enrique A. MARTÍNEZ y Carmen M. ABREU

2013. Apuntes sobre la evolución histórica de la metalurgia armamentística española de los siglos XVII a XIX a través de la caracterización de balas de cañón. En: Actas del *IV Congreso Latinoamericano de Conservación y Restauración de Metal*, pp. 391-399. Instituto del Patrimonio Cultural de España y Grupo Español de Conservación, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Madrid.

BILBAO, Cristina (comp.)

1991. *La ciencia del hombre en el siglo XVIII. Jauffret, Cuvier, Degérando y otros*. Centro Editor de América Latina, Buenos Aires.

BINFORD, Lewis R.

1962. Archaeology as Anthropology. *American Antiquity* 28 (2):217-225.

BINFORD, Lewis y Jeremy A. SABLORFF

1982. Paradigms, Systematics, and Archaeology. *Journal of Anthropological Research* 38 (2):137-153.

BINGEMAN, John M.

1985. Interim Report on Artifacts Recovered from "Invincible" (1758) between 1979 and 1984. *The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration* 14 (3):191-210.

——— 1998. *Invincible (1744-1758)*. En: Mensun Bound (ed.), *Excavating Ships of War*, pp. 168-176. The International Maritime Archaeology Series, vol. 2, University of Oxford. Anthony Nelson Publishers, Shropshire, Reino Unido.

———. 2010. *The First HMS Invincible (1747-58). Her Excavations (1980-1991)*. Oxbow Books. Oxford, Reino Unido.

BINGEMAN, John. M., John. P. BETHELL, Peter GOODWIN y Arthur T. MACK
2000. Copper and other sheathing in the Royal Navy. *The International Journal of Nautical Archaeology* 29 (2):218-229.

BIRCH, Alan
1955. Foreign Observers of the British Iron Industry During the Eighteenth Century. *The Journal of Economic History* 15 (1):23-33.

BIRCH, Thomas, Michael F. CHARLTON, Lynn BIGGS, Zofia A. STOS-GALE y Marcos MARTINÓN-TORRES
2014. The Cargo. En: Gustav Milne y Dean Sully (eds.), *The Gresham Ship Project A 16th-Century Merchantman Wrecked in the Princes Channel, Thames Estuary*, vol. 2 (Contents and Context), pp. 53-69. British Archaeological Reports, British Series No. 606. Archeopress. Oxford, Reino Unido.

BIRCHALL, Ann
1998. HMS *Colossus*. En: Mensun Bound (ed.), *Excavating Ships of War*, pp. 236-248. The International Maritime Archaeology Series, vol. 2, University of Oxford. Anthony Nelson Publishers, Shropshire, Reino Unido.

BIRÓ, Katalin T.
2005. Non-destructive research in archaeology. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 265 (2): 235-240.

BLACKMORE, Howard L.,
1976. *The Armouries of the Tower of London*, vol. 1 (Ordnance). Department of the Environment, Her Majesty's Stationery Office, Londres.

BLANCH, Adolfo
1861. *Cataluña. Historia de la Guerra de la Independencia en el antiguo Principado, bajo la inspección de D. Joaquín Roca y Cornet*, tomo 2. Imprenta y Librería Politécnica de Tomás Gorchs, Barcelona.

BLANCHARD, Ian
2001. Russia and international iron markets, ca. 1740-1850. Trabajo presentado en *Trade, commodity markets and the mercantile contribution to industrialization*, 20 y 21 de abril, University of Glamorgan, Reino Unido. Disponible en: www.yumpu.com/en/document/view/40481876/russia-and-international-iron-markets-ca-1740-1850/9 (Acceso marzo de 2015).

BOUDRIOT, Jean
2000. *Le vaisseau de 74 canons: traité pratique d'art naval*, Collection Archéologie Navale Française, vol. 2. Jean Boudriot, Paris.

BOUDRIOT, Jean y Hubert BERTI
1992. *Artillerie de Mer. France 1650-1850*. Collection Archéologie Navale Française, ANCRE, Paris.

——— 1995. *Les Vaisseaux de 74 à 120 canons: étude historique, 1650-1850*. Collection Archéologie Navale Française, ANCRE, Paris.

——— 2004. *18-pdr Frigate La Vénus (1782)*. ANCRE, Niza, Francia.

BOWDEN, F. P. y D. TABOR

1964. *The friction and lubrication of solids*. Oxford University Press, Londres.

BOY, D. Jaime

1840. *Diccionario Teórico, Práctico, Histórico y Geográfico de Comercio*, tomo 4. Imprenta de Valentín Torras, Barcelona, España.

BRACK, H. G. (ed.)

2008. *Handbook for Ironmongers: A Glossary of Ferrous Metallurgy Terms*. Museum Publication Series (*Hand Tools in History*), vol. 11, The Davistown Museum. Pennywheel Press, Maine, EE.UU.

BRADLEY, Margaret

2010. Examples of industrial and military technology transfer in the eighteenth century. *Documents pour l'histoire des techniques* 19:87-95.

BREEN, Colin (con Kevin BARTON et al.)

2001. *Integrated Marine Investigations on the Historic Shipwreck La Surveillante: A French frigate lost in Bantry Bay, Ireland, January 1797*. Centre for Maritime Archaeology Monograph Series Nº 1, University of Ulster. Coleraine, Irlanda del Norte.

BREEN, Colin y Wes FORSYTHE

2007. The French Shipwreck *La Surveillante*, Lost in Bantry Bay, Ireland, in 1797. *Historical Archaeology* 41 (3):39-50.

BRET, Patrice

2009. La fonderie de canons d'Indret. De quelques modes de circulation technique a la fin du XVIIIe siècle. *Quaderns d'Història de l'Enginyeria* 10:53-66.

BROWN, Ruth R.

1989. Identifying 18th-Century Trunnion Marks on British Iron Guns: a Discussion. *The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration* 18 (4):321-329.

——— 1995. Arming the East Indiamen. En: Mensun Bound (ed.), *The Archaeology of Ships of War*, pp. 114-119. The International Maritime Archaeology Series, vol. 1, University of Oxford. Anthony Nelson Publishers, Shropshire, Reino Unido.

——— 2009. Report on that Armament of HMS *Swift*. Informe presentado al Programa de Arqueología Subacuática del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano, Buenos Aires. Ms.

——— 2011. What's under the crud? A guide to uncovering European cast-iron cannons. *Magazine - The Newsletter of ICOMAM* 8:56-61.

BROWNLEE, Walter

2001. *La armada que venció a Napoleón*. Ediciones Akal, S. A., Madrid.

BRULAND, Kristine y David C. MOWERY

2006. Innovation Through Time. En: Jay Fagerberg, David C. Mowery y Richard R. Nelson (eds.), *The Oxford Handbook of Innovation*, pp. 349-379. Oxford University Press, EE.UU.

BRYCE, Douglas

1984. *Weaponry from the Machault. An 18th-Century French Frigate*. Studies in Archaeology, Architecture and History. National Historic Parks and Sites Branch, Parks Canada, Ottawa, Ontario, Canadá.

BURN, Robert

1852. *A Naval and Military Technical Dictionary of the French Language. In two parts: French-English and English-French; with explanations of the various terms*. John Murray, Londres.

BURNINGHAM, Nick

1999. The *Duyfken*: an experiment in marine archaeology. Australian Broadcasting Corporation. Disponible en: www.abc.net.au/science/slab/duyfken/ (Acceso junio de 2014).

——— 2001. Experimental Archaeology. The *Duyfken* 1606 Foundation. Disponible en: www.duyfken.com/building-the-replica/experimental-archaeology (Acceso junio de 2014).

CAIN, P. J. y A. G. HOPKINS

1980. The Political Economy of British Expansion Overseas, 1750-1914. *The Economic History Review, New Series* 33 (4):463-490.

CALLISTER, William D., Jr.

1996. *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*, vol. 2. Reverté, S. A., Barcelona, España.

CALVÓ, Juan L.

2014a. Artillería de antecarga, lisa, de Ordenanza en la Armada, 1728-1872. *Artillería de Ordenanza en el Ejército y la Armada españoles, 1728 – 1935*, pp. 31-40. Barcelona, España. Disponible en: www.catalogacionarmas.com/public/03-antecarga-lisa-marina.pdf (Acceso marzo de 2015).

——— 2014b. Projectiles utilizados por la artillería lisa de antecarga. *Artillería de Ordenanza en el Ejército y la Armada españoles, 1728 – 1935*, pp. 41-45. Barcelona, España. Disponible en: www.catalogacionarmas.com/public/04-proyectiles-lisa.pdf (Acceso marzo de 2015).

CAMERON, Rondo

1985. A New View of European Industrialization. *The Economic History Review, New Series* 38 (1):1-23.

CAMIDGE, Kevin

2005. *HMS Colossus. Debris Field Survey*. The Cornwall and Isles of Scilly Maritime Archaeology Society. Disponible en: <http://www.cismas.org.uk/downloads.php> (Acceso marzo de 2015).

——— 2006. *HMS Colossus. Survey Report*. The Cornwall and Isles of Scilly Maritime Archaeology Society. Disponible en: <http://www.cismas.org.uk/downloads.php> (Acceso marzo de 2015).

——— 2015. *HMS Colossus. Project Report*. The Cornwall and Isles of Scilly Maritime Archaeology Society. Disponible en: <http://www.cismas.org.uk/downloads.php> (Acceso marzo de 2015).

CAMPBELL, Janet y Peter GESNER

2000. Illustrated catalogue of artefacts from the HMS *Pandora* wrecksite excavations 1977-1995. *Memoirs of the Queensland Museum, Cultural Heritage Series* 2(1):53-159. Brisbane, Australia.

CANADIAN PARKS SERVICE

1992. *The Wreck of the Auguste*. National Historic Sites, Parks Service, Canadá.

CANCINO SALAS, Ronald

1991. Perspectivas sobre la cultura material. *Anales de Desclasificación* 1 (2):1-20. Disponible en: depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Cancino,Perspectivassobrelaculturamaterial_2425.pdf (Acceso marzo de 2015).

CAPORASO, Alicia L., Carl G. CARLSON-DREXLER y Joel MASTERS

2008. Metallurgical Analysis of Shell and Case Shot Artillery from the Civil War Battles of Pea Ridge and Wilson's Creek. *Technical Briefs in Historical Archaeology* 3:15-24.

CARABIAS, Diego (ed.)

2009. *Encuentro de dos mundos. Naufragio del H.M.S. Wager en la Patagonia*. Consejo Nacional de la Cultura y la Artes, Valparaíso, Chile.

CARRIÓN ARREGUI, Ignacio M.

1995. Tecnología tradicional y desarrollo de una industria pesada: la fabricación de anclas en Guipúzcoa (siglos XVI-XVIII). *Revista de Historia Industrial* 7:199-214.

——— 1998. La fabricación de grandes anclas de navíos en el siglo XVIII en Gipuzkoa. *Itsas Memoria. Revista de Estudios Marítimos del País Vasco* 2:549-571.

CARTER, Brinnen S.

1995. Armament Remains from His Majesty's Sloop *Boscawen*. Tesis de Maestría, Texas A&M University, College Station, EE.UU. Disponible en: nautarch.tamu.edu/academic/alum.htm (Acceso marzo de 2015).

CASTANEDO GALÁN, Juan M.

1999. La superintendencia de fábricas y plantíos de Guarnizo. En: *Hierro al mar*, pp. 130-135. Instituto de Estudios Cántabros y Asociación Tajamar, Cantabria, España.

CASTEX, Raúl

1940. *Teorías Estratégicas*, tomo 4. Escuela de Guerra Naval, Buenos Aires.

CASTRO, María A. y Verónica B. ALDAZABAL

2007. *Maderas empleadas en la construcción naval. Embarcaciones halladas en la cuenca del Plata y Atlántico Sur*. Editorial Dunken, Buenos Aires.

CATSAMBIS, Alexis, Ben FORD y Donny L. HAMILTON (eds.)

2011. *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology*. Oxford University Press, Oxford, EE.UU.

CEDERLUNG, Carl Olof (con Fred HOCKER)

2006. *Vasa I: The Archaeology of a Swedish warship of 1628*. Statens Maritima Museer. Estocolomo, Suecia.

CHARLES, J. A.

1973. Heterogeneity in metals. *Archaeometry* 15:105-114.

CHASSÉRIAU, Frédéric Victor C.

1845. *Précis Historique de la Marine Française: son organisation et ses lois*. Imprimerie Royale, París.

CIAFARDINI, Horacio

2005. Capital, comercio y capitalismo: a propósito del llamado "capitalismo comercial". En: Carlos S. Assadourian, Ciro F. S. Cardoso, Horacio Cifardini, Juan C. Garabaglia y Ernesto Laclau (comp.), *Modos de producción en América Latina*, pp. 111-124. Biblioteca del Pensamiento Socialista. Siglo XXI, Buenos Aires.

CIARLO, Nicolás C.

2006. Metodología de estudio de artefactos ferrosos corroídos en un medio subacuático. Un caso de estudio: las concreciones del sitio *Hoorn*. *La Zaranda de Ideas* 2:87-106.

——— 2008. La arqueología subacuática en Argentina. Reseña histórica de los antecedentes, desarrollo de la especialidad y estado actual de las investigaciones. *Revista de Arqueología Americana* 26:41-70.

——— 2010. La corrosión galvánica a mediados del siglo XVIII: El caso de la corbeta de guerra HMS *Swift* (1763-1770). *3er Encuentro de Jóvenes Investigadores en Ciencia y Tecnología de Materiales* (formato CD). Universidad Tecnológica Nacional, Concepción del Uruguay, Entre Ríos.

——— 2013. A Brief Overview of Archaeometric Studies in Historical Maritime Archaeology: Some Contributions from Argentina. *Newsletter of the Society for Archaeological Sciences* 36 (3):3-7.

——— 2014a. *Arqueometalurgia de un sitio de naufragio del siglo XVIII: la corbeta de guerra HMS Swift (1770), Puerto Deseado, provincia de Santa Cruz (Argentina)*. British Archaeological Reports, International Series No. 2596. Archeopress. Oxford, Reino Unido.

——— 2014b. Metals from the British shipwreck *Deltebre I* (1813), Catalonia, Spain: A Brief Report. *Newsletter of the Society for Archaeological Sciences* 37 (2):1-2.

——— 2015a. Arqueometalurgia de naufragios históricos en Argentina: estado de la cuestión y perspectivas futuras. *Intersecciones en Antropología* 16:161-178.

——— 2015b. Naval metals from mid 18th- to early 19th-century European shipwrecks: a first analytical approach. *Historical Metallurgy* 47 (2):146-152.

CIARLO, Nicolás C., Horacio DE ROSA, Dolores ELKIN, Hernán SVOBODA, Cristina VÁZQUEZ, Damián VAINSTUB y Lorena DIAZ PERDIGUERO

2011. Examination of an 18th century English anchor from Puerto Deseado (Santa Cruz Province, Argentina). *Historical Metallurgy* 45 (1):17-25.

CIARLO, Nicolás C., Horacio DE ROSA, Hernán LORUSSO, Cristina VÁZQUEZ, Dolores ELKIN y Graciela CUSTO

2015a. *Veritas temporis filia*: non-destructive analysis of counterfeit and regal copper coins from the sloop-of-war HMS *Swift* (1770), by means of SEM-EDAX and WDXRF. *The Numismatic Chronicle* 175:227-242.

CIARLO, Nicolás C., Horacio DE ROSA, Gustau VIVAR y Josefa MARTÍ SOLANO

2015b. Cast iron production for artillery: the analysis of shot from early Modern shipwrecks. *Newsletter of the Society for Archaeological Sciences* 38 (1):25-26.

CIARLO, Nicolás C., Ariel N. LÓPEZ, Horacio DE ROSA y Mercedes PIANETTI

2015c. Naval crossfire: a comparative analysis of iron projectiles from mid-18th to early 19th centuries European warships. *Procedia Materials Science* 8:712-721.

CIARLO, Nicolás C., María C. LUCCHETTA y Horacio DE ROSA

2013. Análisis metalográfico y químico de un conjunto de artefactos recuperados del naufragio *Triunfante* (1756-1795), Golfo de Rosas (Cataluña, España). En: Javier Nieto, Marcel Pujol i Hamelink y Gustau Vivar (eds.), *El vaixell Triunfante: Una fita de la ciència i de la tècnica del segle XVIII*, pp. 159-171. Monografies del CASC No.10, Museu d'Arqueologia de Catalunya, Girona, España.

CIARLO, Nicolás C., Horacio DE ROSA, María C. LUCCHETTA, Pablo MARINO, Nuria RODRÍGUEZ MARISCAL, Josefa MARTÍ SOLANO y Gisela MAXIA

2014. Estudio comparado de dos navíos franceses de la Batalla de Trafalgar: los elementos de fijación estructurales del *Fougueux* (1785-1805) y *Bucentaure* (1804-1805). En: David Juanes Barber y Clodoaldo Roldán García (coord.), *Actas del X Congreso Ibérico de Arqueometría*, pp. 217-229. Subdirección de Conservación, Restauración e Investigación IVC+R de CulturArts Generalitat, Castellón, España.

CIARLO, Nicolás C., Gisela MAXIA, Marina RAÑÍ, Horacio DE ROSA, Rut GELI y Gustau VIVAR

2016. Craft production of large quantities of metal artifacts at the beginnings of industrialization: application of SEM-EDS and multivariate analysis on sheathing tacks from a British transport sunk in 1813. *Journal of Archaeological Sciences: Reports* 5:263-275.

CLARKE, David

1973. Archaeology: the loss of innocence. *Antiquity* 47:6-18.

CLAUSEWITZ, Carl von

1909. *On War*. Project Gutenberg EBook. Disponible en: www.gutenberg.org/files/1946/1946-h/1946-h.htm (Acceso marco de 2014).

COCHRAN, Matthew D. y Mary C. BEAUDRY

2006. Material Culture Studies and Historical Archaeology. En: Dan Hicks y Mary C. Beaudry (eds.), *The Cambridge Companion to Historical Archaeology*, pp. 191-204. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

COCK, Randolph

2001. 'The finest invention in the world': the Royal Navy's early trials of copper sheathing, 1708-1770. *The Mariner's Mirror* 87 (4):446-459.

COCKRELL, Wilburn A.

1983. A Trial Classificatory Model for the Analysis of Shipwrecks. En: Richard Gould (ed.), *Shipwreck Anthropology*, pp. 207-217. University of New Mexico Press, Albuquerque, EE.UU.

COHEN, M., D. ASHKENAZI, Y. KAHANOV, A. STERN, S. KLEIN y D. CVIKEL

2015. The Brass Nails of the Akko Tower Wreck (Israel): Archaeometallurgical Analyses. *Metallography, Microstructure, and Analysis* 4:188-206.

COHN, Arthur B.

2000. A Perspective on the Future of Underwater Archaeology. *Historical Archaeology* 34 (4):18-21.

COLEMAN, Ronald A.

1988. A 'Taylor's' common pump from HMS *Pandora* (1791). *The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration* 17 (3):201-204.

COLLINS, Randall

1989. Toward a Theory of Intellectual Change: The Social Causes of Philosophies. *Science, Technology, & Human Values* 14 (2):107-140.

CONLIN, David L.

1998. Ship evolution, ship 'ecology', and the 'Masked Value Hypothesis'. *The International Journal of Nautical Archaeology* 27 (1):3-15.

CONTURIE, P. M. J.

1951. *Histoire de la Fonderie nationale de Ruelle, 1750-1940, et des anciennes fonderies de canons de fer de la Marine*, 2 vols. Imprimerie Nationale, París.

CORBERA MILLÁN, Manuel

1999. Ferrerías en Cantabria. En: *Hierro al mar*, pp. 45-51. Instituto de Estudios Cántabros y Asociación Tajamar, Cantabria, España.

CORDERO, Alejo, Valerio BUFFA y Dolores C. ELKIN

2003. Arqueología Marítima en Uruguay. *Novedades de Antropología* 46:18-19.

CORRELL, Francis D., Lord K. COLE, Charles J. SLATER, Jeffrey R. VANHOY y Charles H. FITHIAN

2009. PIXE Analysis of Metal Hull Bolts From HMB DeBraak. *AIP Conference Proceedings* 1099:265-268.

COSERIU, Eugenio

1977. *Principios de semántica estructural*. Gredos, Madrid.

COTSELL, George

1856. *Treatise on ship's anchors*. John Weale, Londres.

COWAN, Rex, Zélide COWAN y Peter MARSDEN

1975. The Dutch East Indiaman *Hollandia* wrecked on the Isles of Scilly in 1743. *The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration* 4 (2):267-300.

CRADDOCK, Paul y Duncan HOOK

2012. An economic history of the post-Medieval world in 50 ingots: the British Museum collection of ingots from dated wrecks. *The British Museum Technical Research Bulletin* 6:55-68.

CRONYN, J. M.

1990. *The elements of archaeological conservation*. Routledge, Londres.

CRUZ, Isabel

2004. El paisaje chileno en los pintores viajeros del romanticismo. *Patrimonio Cultural* 33:12-13. Revista estacional de la Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos (Dibam) del Ministerio de Educación de Chile, Santiago de Chile.

CURRYER, Betty N.

1999. *Anchors. An Illustrated History*. Chathan Publication, Londres.

CVIKEL, Deborah y Yaakov KAHANOV

2009. The Akko 1 shipwreck, Israel: the first two seasons. *The International Journal of Nautical Archaeology* 38 (1):38-57.

DARWIN, Charles

[1871] 1943. *El origen del hombre y la selección en relación al sexo*. Editorial Albatros, Buenos Aires.

DAVY, Humphry

1824a. On the corrosion of copper sheathing by sea water, and on methods of preventing this effect; and on their application to ships of war and other ships. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 114:151-158.

————— 1824b. Additional Experiments and Observations on the Application of Electrical Combinations to the Preservation of the Copper Sheathing of Ships, and to other purposes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 114:242-246.

————— 1825. Further researches on the preservation of metals by electrochemical means. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 115:328-346.

DEACON, Ryan

2007. Analysis of 19th Century Boat Anchor Using Field Metallography Techniques. *Advanced Materials & Processes* 165 (2):22-23.

DEAN, Martin, Ben FERRARI, Ian OXLEY, Mark REDKNAP y Kit WATSON (eds.)

1992. *Archaeology Underwater - The NAS Guide to Principles and Practice*. Nautical Archaeology Society, Institute of Archaeology, Londres.

DEETZ, James

1996. *In small things forgotten: An archaeology of early American life*. Anchor Books, Nueva York, EE.UU.

DELGADO, James

(ed.) 1997. *Encyclopedia of Underwater and Maritime Archaeology*. British Museum Press. Londres.

————— 2000a. Underwater Archaeology at the Dawn of the 21st Century. *Historical Archaeology* 34 (4):9-13.

————— 2000b. Whence Forth? With Whom? Why? A Response to Bass, Carrell, Cohn, Gould, Keith, and Lenihan. *Historical Archaeology* 34 (4):30-31.

DELLINO, Virginia

2002. Archaeological evidence and historical documents: The HMS *Swift* case. *The Bulletin of the Australasian Institute for Maritime Archaeology* 26:105-118.

DE MARRAIS, Elizabeth, Luis J. CASTILLO y Timothy EARLE

1996. Ideology, Materialization and Power Strategies. *Current Anthropology* 37 (1):15-31.

DE ROSA, Horacio y Nicolás C. CIARLO

2007. Análisis metalúrgicos. En: Dolores Elkin, Cristian Murray y Mónica Grosso (eds.), Estudio arqueológico marítimo en el P. N. Monte León (Informe final), pp. 135-141. Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano, Buenos Aires. Ms.

DE ROSA, H., N. C. CIARLO, M. PICHIPIL y A. CASTELLI

2015a. 19th century wooden ship sheathing. A case of study: the materials of Puerto Pirámides 1, Península Valdés. *Procedia Materials Science* 9:177-186.

DE ROSA, Horacio, Nicolás C. CIARLO y Hernán SVOBODA

2010. Estudio de clavos de aleación de cobre asociados a los restos de una embarcación hallada en Isla de los Estados. Actas del *XI Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales (IBEROMET)* y *x Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales (CONAMET/SAM)*, pp. 1-8 (publicación en CD). Viña del Mar, Chile.

DE ROSA, Horacio, Nicolás C. CIARLO, Hernán SVOBODA y Federico DI CLAUDIO

2009. Caracterización de elementos metálicos de fijación hallados en sitios de naufragio (siglos XVII-XIX) de la costa atlántica argentina. Trabajo presentado en el *III Congreso Argentino de Arqueometría y II Jornadas Nacionales para el Estudio de Bienes Culturales*. Academia Nacional de Ciencias y Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Ciudad de Córdoba, Argentina. Ms.

DE ROSA, Horacio, Nicolás C. CIARLO, María C. LUCCHETTA y Pablo MARINO

2015b. Coppers from the Battle of Trafalgar: metallurgical analysis of structural fastenings from the French ships *Fougueux* (1785-1805) and *Bucentaure* (1804-1805). *Procedia Materials Science* 8:722-731.

DE ROSA, Horacio, Dolores ELKIN, Nicolás C. CIARLO y Fabiana SAPORITI

2007. Characterization of a Coin from the Shipwreck of HMS *Swift* (1770). *Technical Briefs in Historical Archaeology* 2:32-36.

- DE ROSA, Horacio, Hernán LORUSSO y Hernán G. SVOBODA
2008. Estudio de chapas metálicas empleadas como revestimiento de cascos de embarcaciones de madera. En: María T. Carrara (comp.), *Continuidad y Cambio Cultural en Arqueología Histórica*, pp. 551-556. Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina.
- DE ROSA, Horacio, María C. LUCCHETTA y Hernán SVOBODA
2012. Characterization of sternpost gudgeon of a ship found in the city of Buenos Aires. *Procedia Materials Science* 1:666-673.
- DE ROSA, Horacio y Hernán SVOBODA
2007. Estudio arqueometalúrgico de los clavos pertenecientes a las embarcaciones relevadas. En: Carlos Vairo, Guillermo May y Horacio Molina Pico (eds.), *Antártida. Asentamientos balleneros históricos*, pp. 142-150. Zagier & Urruty Publications, Tierra del Fuego, Argentina.
- DAJNOWSKI, Bartosz A.
2013. Laser ablation cleaning of an underwater archaeological bronze spectacle plate from the H.M.S. DeBraak shipwreck. *Proceedings of the SPIE* 8790. Winterthur Museum y University of Delaware, EE.UU.
- DE ROSA, Horacio, Hernán SVOBODA y Adriana MACHUCA SUÁREZ
2009 Caracterización de elementos de fijación de un navío hallado en la ciudad de Buenos Aires (Proyecto Zencity). Actas del *9º Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales SAM/CONAMET*, Buenos Aires.
- DERRY, Thomas K. y Trevor I. WILLIAMS
1997. *Historia de las técnicas. Desde la antigüedad hasta 1750*, vol. 1. Siglo XXI Editores, México.
- DICKIE, Iain, Martin J. DOUGHERTY, Phyllis J. JESTICE, Christer JÖRGENSEN y Rob S. RICE
2012. *Técnicas bélicas de la guerra naval (1190 a.C. – presente)*. Editorial Libsa, Madrid.
- DOBB, Maurice
1971. *Estudios sobre el desarrollo del capitalismo*. Siglo XXI Editores, Buenos Aires.
- D'ORIO, Carlos A.
1993. *Recopilación bilingüe de términos metalúrgicos y definiciones*. Departamento de Mecánica del Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires.
- DUCASSÉ, Pierre
1973. *Historia de las técnicas*. Biblioteca Cultural, Colección Cuadernos No.29. Eudeba, Buenos Aires.
- EDWARDS, Howell y Peter VANDENABEELE (eds.)
2012. *Analytical Archaeometry: Selected Topics*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, Reino Unido.
- EHRENREICH, R. M.
1995. Archaeometry into Archaeology. *Journal of Archaeological Method and Theory* 2 (1):1-6.

ELKIN, Dolores

2007. Estudios interdisciplinarios aplicados a la investigación y preservación del patrimonio cultural subacuático. En: Cristina Vázquez y Oscar M. Palacios (eds.), *Patrimonio cultural: la gestión, el arte, la arqueología y las ciencias exactas aplicadas*, pp. 165-171. Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires.

————— 2008. Maritime Archaeology in Argentina at the Instituto Nacional de Antropología. En: Margaret E. Leshikar-Denton y Pilar L. Erreguerena (eds.), *Underwater and Maritime Archaeology in Latin America and the Caribbean*, pp. 155-171. Left Coast Press, California, EE.UU.

————— 2011. Shipwreck Archaeology in South America. En: Alexis Catsambis, Ben Ford y Donny L. Hamilton (eds.), *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology*, pp. 685-707. Oxford University Press, Oxford, EE.UU.

ELKIN, Dolores y Amaru ARGÜESO

2010. Aportes teórico-metodológicos para arqueología náutica de momentos históricos. El caso de la corbeta de guerra HMS *Swift* (Puerto Deseado, Santa Cruz). En: Fernando Oliva, Nélica de Grandis y Jorge Rodríguez (comp.), *Arqueología argentina en los inicios de un nuevo siglo*, tomo 3, pp. 337-345. Laborde Libros Editor, Rosario, Santa Fe, Argentina.

ELKIN, Dolores, Amaru ARGÜESO, Mónica GROSSO, Cristian MURRAY, Damián VAINSTUB, Ricardo BASTIDA y Virginia DELLINO

2007. Archaeological research on HMS *Swift*: a British Sloop-of-War lost off Patagonia, Southern Argentina, in 1770. *The International Journal of Nautical Archaeology* 36 (1):32-58.

ELKIN, Dolores, Cristian MURRAY, Ricardo BASTIDA, Mónica GROSSO, Amaru ARGÜESO, Damián VAINSTUB, Chris UNDERWOOD y Nicolás C. CIARLO

2011. *El naufragio de la HMS Swift (1770): Arqueología marítima en la Patagonia*. Vázquez Mazzini Editores, Buenos Aires.

ELKIN, Dolores, Howell EDWARDS y Marta S. MAIER

2012. The Application of Analytical Archaeometry in Underwater Cultural Heritage – A Case Study from Patagonia, Argentina. En: Howell Edwards y Peter Vandenabeele (eds.), *Analytical Archaeometry: Selected Topics*, pp. 532-549. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, Reino Unido.

EMSLEY, John

2012. The elements: vanadium. *Education in Chemistry*, mayo, p. 13. Royal Society of Chemistry, Cambridge, Reino Unido. Disponible en: www.rsc.org/eic (Acceso marzo de 2014)

EVANS, Chris y Göran RYDÉN

2006. The Enlightenment, Industrial Development and the Industrial Enlightenment – Questions about a Useful Knowledge of Iron. Trabajo presentado en el *International Congress of Economic History*, 21 al 25 de agosto de 2006. Helsinki. Disponible en: www.helsinki.fi/iehc2006/papers1/Evans38.pdf (Acceso marzo de 2015).

EVANS, Chris, Owen JACKSON y Göran RYDÉN

2002. Baltic iron and the British iron industry in the eighteenth century. *The Economic History Review, New Series* 55 (4):642-665.

EVANS-PRITCHARD, Edward E.

1990. Antropología e Historia. En: *Ensayos de Antropología Social*, pp. 44-67. Siglo XXI, Buenos Aires.

EXNER, H. E. y S. WEINBRUCH

2004. Scanning Electron Microscopy. En: George F. Vander Voort (ed.), *ASM Handbook*, vol. 9 (Metallography and Microstructures), pp. 355-367. ASM International, EE.UU.

FELKINS, K., H. P. LEIGHLY Jr. y A. JANKOVIC

1998. The Royal Mail Ship Titanic: Did a Metallurgical Failure Cause a Night to Remember? *JOM* 50 (1):12-18.g

FERNÁNDEZ DE NAVARRETE, Martín

1851. *Biblioteca Marítima Española*, tomo 2 (obra póstuma). Imprenta de la viuda de Calero, Madrid.

FERNÁNDEZ DURO, Cesáreo

[1895] 1972-1973. *Armada Española, desde la unión de los Reinos de Castilla y de Aragón*, 9 tomos. Museo Naval, Madrid.

FERREIRO, Larrie D.

2007. Spies versus prize: technology transfer between navies in the Age of Trafalgar. *Mariner's Mirror* 93 (1):16-27.

FIGUIER, Louis

1867. *Les Merveilles de la science ou description populaire des inventions modernes*, vol. 1. Furne, Jouvet & Cia., París.

——— 1868. *Les Merveilles de la science ou description populaire des inventions modernes*, vol. 2. Furne, Jouvet & Cia., París.

FINCHAM, John

1851. *A History of Naval Architecture: to which is prefixed an introductory dissertation on the application of mathematical science to the art of naval construction*. Whittaker and Co., Londres.

FLANIGAN, Alan T.

1999. The Rigging Material from *Boscawen*: Setting the Sails of a Mid-Eighteenth-Century Warship During the French and Indian War. Tesis de Maestría, Texas A&M University, College Station, EE.UU. Disponible en: nautarch.tamu.edu/academic/alum.htm (Acceso marzo de 2015).

FLANNERY, Kent V. y Joyce MARCUS

1998. Cognitive Archaeology. En: David S. Whitley (ed.), *Reader in Archaeological Theory. Post-Processual and Cognitive Approaches*, pp. 35-49. Routledge, Londres.

FLATMAN, Joe

2003. Cultural biographies, cognitive landscapes and dirty old bits boat: 'theory' in maritime archaeology. *The International Journal of nautical Archaeology* 32 (2):143-157.

FLATMAN, Joe y Mark STANIFORTH

2006. Historical maritime archaeology. En: Dan Hicks y Mary Beaudry (eds.), *The Cambridge Companion to Historical Archaeology*, pp. 168-188. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

FLEWITT, P. E. J. y R. K. WILD

1994. *Physical Methods for Materials Characterization*. Institute of Physics Publishing, Londres.

FLYNN, Peter E.

2006. H.M.S. Pallas: Historical Reconstruction of an 18th-Century Royal Navy Frigate. Tesis de Maestría, Texas A&M University, College Station, EE.UU. Disponible en: nautarch.tamu.edu/academic/alum.htm (Acceso marzo de 2015).

FOARD, Glenn

2009. Guidance on Recording Lead Bullets from Early Modern Battlefields. Disponible en: www.heritagescience.ac.uk/Research_Projects/projects/Projectposters/Conservation_of_Battlefield_Archaeology_project_report_-_Appendix_3 (Acceso marzo de 2014).

FRANKE, Traugott

1855. *Technological Dictionary*, vol. 2 (English-German-French). Kreidel & Niedner, ed., Wiesbaden, Hesse, Alemania.

FRANKLIN, M.

2005. Blood and Water; the Archaeological Excavation and Historical Analysis of the Wreck of the *Industry*, a North-American Transport Sloop Chartered by the British Army at the End of the Seven Years' War: British Colonial Navigation and Trade to Supply Spanish Florida in the Eighteenth Century. Tesis de Doctorado, Texas A&M University, College Station, EE.UU. Disponible en: nautarch.tamu.edu/academic/alum.htm (Acceso marzo de 2015).

FREGE, Friedrich L. G.

1903. *Grundgesetze der Arithmetik*, vol. 2. Verlag Hermann Pohle, Jena, Alemania.

FREMONT-BARNES, Gregory

2008. *Victory vs Redoubtable. Ships of the Line at Trafalgar, 1805*. Osprey Publishing, Oxford, Reino Unido.

FRUEHAN, Richard J.

1992. Gases in Metals. *ASM Handbook*, vol. 15 (Casting), pp. 175-183. ASM International Handbook Committee, EE.UU.

FRYKMAN, Niklas

2009. Seamen on Late Eighteenth-Century European Warships. *International Review of Social History* 54:67-93.

FUENTE, Pablo de la

2006. *El Triunfante: tecnología y ciencia en la España de la Ilustración. Historia de un navío hundido en el golfo de Rosas*. Museo Marítimo de Barcelona, Cataluña, España.

FUNARI, Pedro P. A.

1999. Historical Archaeology from a World Perspective. En: Pedro P. A. Funari, Siân Jones y Martin Hall (eds.), *Historical Archaeology: Back from the Edge*, pp. 37-66. Routledge, Londres.

FUNARI, Pedro P. A., Siân JONES y Martin HALL

1999. Introduction: archaeology in history. En: Pedro P. A. Funari, Siân Jones y Martin Hall (eds.), *Historical Archaeology: Back from the Edge*, pp. 1-20. Routledge, Londres.

FUSTER, Justo P.

1830. *Biblioteca Valenciana de los Escritores que florecieron hasta nuestros días y de los que aun viven*, tomo 2. Imprenta y librería de Ildefonso Mompié, Valencia, España.

GAINSFORD, Matthew (con Jeremy GREEN, Mike MCCARTHY y Corioli SOUTER)

2004. Wreck inspection report: Ningaloo mid-19th century unidentified. Report – Department of Maritime Archaeology, Western Australian Maritime Museum No. 186. Australia. Disponible en: Disponible en: museum.wa.gov.au/maritime-archaeology-db/sites/default/files/no._186_www_ningaloo_2.pdf (Acceso marzo de 2015).

GALLARDO ABÁRZUZA, Mercedes y Lourdes MÁRQUEZ CARMONA

2005. Los Naufragios de La Batalla de Trafalgar. *Boletín del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico* 55:86-92.

GAMBLE, Clive

1994. El poblamiento de Europa hace 700.000 – 40.000 años BP. En: Barry Cunliffe (ed.), *Prehistoria de Europa*, pp. 11-46. Crítica, Barcelona.

GARCÍA, María C., Carlos DEL CAIRO y Clara FUQUEN

2003. Fundación ARGOS. Patrimonio Cultural Sumergido en Colombia. En: Francisco J. Lacayo Parajón (dir.), *Protección del Patrimonio Cultural Subacuático. América Latina y el Caribe*, pp. 48-51. Oficina Regional de Cultura para América Latina y el Caribe de la UNESCO, La Habana.

GARCÍA, Rolando

2013. *Sistemas complejos: conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Editorial Gedisa, S. A., Barcelona, España.

GARCÍA ALONSO, Manuel

1999. Los carboneros de los bosques de Cantabria. En: *Hierro al mar*, pp. 96-105. Instituto de Estudios Cántabros y Asociación Tajamar, Cantabria, España.

GARCÍA CODRÓN, Juan C.

1999. La evolución de la vegetación en el litoral de Cantabria. En: *Hierro al mar*, pp. 86-94. Instituto de Estudios Cántabros y Asociación Tajamar, Cantabria, España.

GARCÍA TAPIA, Nicolás

1999. Juan de Herrera y el trabajo del hierro. En: *Hierro al mar*, pp. 64-71. Instituto de Estudios Cántabros y Asociación Tajamar, Cantabria, España.

GARDINER, Robert

2011. *Warships of the Napoleonic Era: Design, Development and Deployment*. Seaforth Publishing, Reino Unido.

GARDINER, Julie y Michael ALLEN (eds.)

2005. *Before the mast: life and death aboard the Mary Rose*. The Archaeology of the *Mary Rose*, vol. 4. Mary Rose Trust. Portsmouth, Reino Unido.

GAY, Jacques

1997. *Six millénaires d'histoire des ancres*. Presses de l'Université de Paris-Sorbonne, París.

GESELOWITZ, Michael N.

1993. Archaeology and the Social Study of Technological Innovation. *Science, Technology, & Human Values* 18 (2):231-246.

GESNER, Peter

1998, Managing Pandora's Box: an exercise in eco-archaeometry. En: Mensun Bound (ed.), *Excavating Ships of War*, pp. 230-235. The International Maritime Archaeology Series, vol. 2, University of Oxford. Anthony Nelson Publishers, Shropshire, Reino Unido.

GIANELLA, Alicia E.

1995. *Introducción a la epistemología y la metodología de la ciencia*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires.

——— 2006. Las disciplinas científicas y sus relaciones. *Anales de la educación común* 3:74-83. Publicación de la Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

GIBBINS, David y Jonathan ADAMS

2001. Shipwrecks and maritime archaeology. *World Archaeology* 32 (3):279-291.

GIBBS, Martin

2006. Cultural Site Formation Processes in Maritime Archaeology: Disaster Response, Salvage and Muckelroy 30 Years on. *The International Journal of Nautical Archaeology* 35 (1):4-19.

GIBLER, Douglas M.

2009. *International Military Alliances, 1648-2008*, vol. 1. CQ Press, Washington, D.C.

GILBERT, Martin

2003. *The Routledge Atlas of British History*. Routledge, Londres.

GILLISPIE, Charles C.

1957. The Natural History of Industry. *Isis* 48 (4):398-407.

GIUMLIA-MAIR, Alessandra

2005. On surface analysis and archaeometallurgy. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 239:35-43.

GÓMEZ ROMERO, Facundo

2005. A Brief Overview of the Evolution of Historical Archaeology in Argentina. *International Journal of Historical Archaeology* 9 (3):135-141.

GONZÁLEZ, Luis R.

2004. *Bronces sin nombre*. Fundación CEPPA, Buenos Aires.

GONZÁLEZ-ALLER HIERRO, José I.

1998. *España en la mar. Una historia milenaria*. Lunwerg Editores, Madrid.

GONZÁLEZ-PEREYRA, Nestor, Typhaine BROCARD, Stephanie A. CRETTE, Philippe DE VIVIÉS, Michael J. DREWS y Paul MARDIKIAN

2010. The use of subcritical fluids for the stabilization of concreted iron artifacts. En: Paul Mardikian, Claudia Chemello, Christopher Watters y Peter Hull (eds.), *Metal 2010. Proceedings of the Interim Meeting of the International Council of Museums Committee for Conservation (ICOM-CC) Metal Working Group*, pp. 21-30. Charleston, Carolina del Sur, EE.UU.

GONZÁLEZ-POLA DE LA GRANJA, Pablo

1999. El impacto del proceso industrial sobre el ámbito rural a finales del siglo XVIII. En: *Hierro al mar*, pp. 106-111. Instituto de Estudios Cántabros y Asociación Tajamar, Cantabria, España.

GOÑI, Rafael y Patricia MADRID

1998. Arqueología sin hornear: sitios arqueológicos históricos y el Fuerte Blanca Grande. *Intersecciones en Antropología* 2:69-83.

GOODHEW, P. J., J. HUMPHREYS y R. BEANLAND

2004 Light and Electron Microscopy. En: George F. Vander Voort (ed.), *ASM Handbook*, vol. 9 (Metallography and Microstructures), pp. 325-331. ASM International, EE.UU.

GOODWIN, Peter

2001. *The Construction and Fitting of the Sailing Man of War (1650-1850)*. Conway Maritime Press, Londres.

GOSDEN, Chris

2005. What Do Objects Want? *Journal of Archaeological Method and Theory* 12 (3):193-211.

GOSDEN, Chris e Yvone MARSHALL

1999. The Cultural Biography of Objects. *World Archaeology* 31 (2):169-178.

GOULD, Richard A.

(ed.) 1983a. *Shipwreck Anthropology*. University of New Mexico Press, Albuquerque, EE.UU.

——— 1983b. Looking Below the Surface: Shipwreck Archaeology as Anthropology. En: Richard A. Gould (ed.), *Shipwreck Anthropology*, pp. 3-22. University of New Mexico Press, Albuquerque, EE.UU.

——— 1983c. The Archaeology of War: Wrecks of the Spanish Armada of 1588 and the Battle of Britain, 1940. En: Richard A. Gould (ed.), *Shipwreck Anthropology*, pp. 105-142. University of New Mexico Press, Albuquerque, EE.UU.

——— 2000. Beyond Exploration: Underwater Archaeology after the Year 2000. *Historical Archaeology* 34 (4):24-28.

——— 2011. *Archaeology and the Social History of Ships*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

GRENIER, Robert, Marc-André BERNIER y Willis STEVENS (eds.)

2007. *The underwater archaeology of Red Bay: Basque shipbuilding and whaling in the 16th century*, 5 vols. Parks Canada. Ottawa, Ontario, Canadá.

GROSSO, Mónica

2008. Arqueología de naufragios: estudio de procesos de formación naturales en el sitio HMS Swift (Puerto Deseado, Santa Cruz). *Tesis de Licenciatura del Departamento de Ciencias Antropológicas* (publicación electrónica, CD 2). Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

——— 2011. Estudios de cultura material en sitios históricos de naufragio en el litoral patagónico. El uso de la madera en artefactos del barco británico *HMS Swift* (siglo XVIII). Tesis de Doctorado, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires. Ms.

——— 2013. Qué llevar y cómo transportarlo: enseres de almacenaje en un barco de guerra británico del siglo XVIII naufragado en la Patagonia (Puerto Deseado, Santa Cruz, Argentina). *Intersecciones en Antropología* 14:157-170.

GROSSO, Mónica, María TRASSENS y Ricardo BASTIDA

2013. Relevancia de la matriz sedimentaria en los sitios arqueológicos subacuáticos. *Revista de Arqueología Americana* 31:206-246.

GROYSMAN, Alec

2010. *Corrosion for Everybody*. Springer, Londres y Nueva York.

GUNDLACH, Richard B.

1992. High-Alloy White Irons. *ASM Handbook*, vol. 15 (Casting), pp. 1486-1500. ASM International Handbook Committee, EE.UU.

HALL, Martin y Stephen W. SILLIMAN

2006. Introduction: Archaeology of the Modern World. En: Martin Hall y Stephen W. Silliman (eds.), *Historical Archaeology*, pp. 1-19, Blackwell studies in global archaeology 9, Blackwell Publishing, Reino Unido.

HAMMER, Øyvind, David A. T. HARPER y Paul D. RYAN

2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4 (1):9.

HARLAND, John H.

1976. Piet Heyn and the early use of copper sheathing. *Mariner's Mirror* 62 (1):1-2.

HARLEY, C. K.

1973. On the Persistence of Old Techniques: The Case of North American Wooden Shipbuilding. *The Journal of Economic History* 33 (2):372-398.

HARRIS, John R.

1966. Copper and Shipping in the Eighteenth Century. *The Economic History Review* 19:550-568.

——— 1992. Industrial Espionage in the Eighteenth Century. *Essays in Industry and Technology in the Eighteenth Century*, pp. 164-175. Ashgate Publishing, Reino Unido.

——— 2006. *Industrial Espionage and Technology Transfer. Britain and France in the Eighteenth Century*. Ashgate Publishing, Reino Unido.

HARRIS, Marvin

2009. *El desarrollo de la teoría antropológica. Una historia de las teorías de la cultura*. Siglo XXI, Madrid.

HARTWELL, R. M.

1965. The Causes of the Industrial Revolution: An Essay in Methodology. *The Economic History Review* 18 (1):164-182.

HELDTBERG, Marianne, Ian D. MACLEOD y Vicky L. RICHARDS

2004. Corrosion and cathodic protection of iron in seawater: a case study of the James Matthews (1841). *Proceedings of Metal*, pp. 75-87. National Museum of Australia, Canberra, Australia.

HICKS, Dan y Mary BEAUDRY

2006. Introduction: the place of historical archaeology. En: Dan Hicks y Mary Beaudry (eds.), *The Cambridge Companion to Historical Archaeology*, pp. 1-9, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

HOBSBAWM, Eric

1995. Los orígenes de la revolución industrial británica. En: *En torno a los orígenes de la Revolución Industrial*, pp. 89-114 (artículo original en italiano, publicado en 1961). Siglo XXI editores, México.

——— 2006. *La Era de la Revolución, 1789-1848*. 5a. ed. (primera edición en inglés de 1962). Crítica, Buenos Aires.

HODDER, Ian

1988. El problema. En: *Interpretación en Arqueología*, pp. 13-31. Editorial Crítica, Barcelona.

HOHIMER, Michael S.

1983. *British Naval Ordnance, 1700-1815*. International Naval Archives, Reino Unido.

HOWARD, E. D.

1962. *Tratado práctico de fundición*. Aguilar, Madrid.

HOWARD, Michael

1987. *Las causas de las guerras y otros ensayos*. Colección Ediciones Ejército, Servicio de Publicaciones del EME, Madrid.

HUNTER, J. R.

1994. 'Maritime culture': notes from the land. *The International Journal of Nautical Archaeology* 23 (4):261-264.

INTERNATIONAL BUREAU OF WEIGHTS AND MEASURES

2006. *The International System of Units (SI)*, pp. 94-180. 8a. ed., Organisation Intergouvernementale de la Convention du Mètre, Stedi Media, París.

JACOMY, Bruno

1992. *Historia de las técnicas*. Biblioteca Clásica y Contemporánea, Serie Mayor 1. Losada, Buenos Aires.

JASINSKI, Marek E.

1999. Which way now? Maritime Archaeology and Underwater Archaeology into the 21st century. Trabajo presentado en el *World Archaeological Congress 4*, pp. 1-22. University of Cape Town. Sudáfrica.

JOBLING, Harold J.

1989. Bronze anchors. *The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration* 18 (1):67.

——— 1993. The History and Development of English Anchors ca. 1550 to 1850. Tesis de Maestría, Texas A&M University, College Station, EE.UU. Disponible en: nautarch.tamu.edu/academic/alum.htm (Acceso marzo de 2015).

JOHNSON, Matthew H.

1996. *An archaeology of capitalism*. Blackwell, Oxford, Reino Unido.

——— 2000. *Teoría arqueológica. Una introducción*. Editorial Ariel, Barcelona.

JONES, A.

2004. Archaeometry and Materiality: Materials-Based Analysis in Theory and Practice. *Archaeometry* 46 (3):327-338.

JONES, Toby N.

2004. The Mica Shipwreck: Deepwater Nautical Archaeology in the Gulf of Mexico. Tesis de Maestría, Texas A&M University, College Station, EE.UU. Disponible en: nautarch.tamu.edu/academic/alum.htm (Acceso marzo de 2015).

KENNARD, A. N.

1986. *Guns and Gunfounders: A Directory of Cannon Founders from Earliest Times to 1850*. Arms and Armour Press, Londres.

KENT, H. S. K.

1973. *War and Trade in Northern Seas. Anglo-Scandinavian economic relations in the mid-eighteenth century*. Cambridge University Press, Reino Unido.

KIERAN, Eoghan

2004. *Tayleur, a victim of technological innovation*. *Bulletin of the Australasian Institute for Maritime Archaeology* 28:143-145.

KINARD, Jeff

2007. *Artillery: an illustrated history of its impact*. Serie Weapons and Warfare. ABC-CLIO, Inc., Santa Barbara, California, EE.UU.

KLEIN, Hans K. y Daniel L. KLEINMAN

2002. The Social Construction of Technology: Structural Considerations. *Science, Technology, & Human Values* 27 (1):28-52.

KLIMOVSKY, Gregorio

2005. *Las desventuras del conocimiento científico*. A-Z Editora, Buenos Aires.

KNIGHT, R. J. B.

1973. The introduction of copper sheathing into the Royal Navy, 1779-1786. *The Mariner's Mirror* 59 (3):299-309.

KNUCKEY, P. J.

1988. *An Anchor from HMB Endeavour: Restoration and other Aspects*. Materials Research Laboratory, Melbourne, Australia.

KOSSO, Peter

1997. Objective evidence. *Reading the book of Nature*, pp. 159-176. Cambridge University Press, Reino Unido.

KRIEDTE, Peter, Hans MEDICK y Jürgen SCHLUMBOHM

1986. *Industrialización antes de la industrialización*. Crítica, Barcelona.

KRIVOR, Michael C.

1994. Preliminary investigation of a Late Eighteenth-Century British Vessel Located off Chubbs Head Cut, Bermuda. En: R. P. Woodward y Ch. D. Moore (eds.), *Underwater Archaeology Proceedings From the Society for Historical Archaeology Conference*, pp. 40-46. Society for Historical Archaeology, Vancouver, EE.UU.

KUHN, Thomas S.

1977. La tensión esencial: tradición e innovación en la investigación científica. En: Thomas S. Kuhn (ed.), *La tensión esencial. Estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia*, pp. 248-262. Fondo de Cultura Económica, México.

LANDA, Carlos

2011. *Fierros Fronterizos. Los materiales de metal como indicadores de identidad y diferenciación social en la Frontera del sur (1776-1885)*. Editorial Académica Española, Madrid.

LANDES, David S.

1994. What room for accident in history?: explaining big changes by small events. *Economic History Review* 47 (4):637-656.

LEMONNIER, Pierre

1986. The study of material culture today: toward an Anthropology of technical systems. *Journal of Anthropological Archaeology* 5:147-186.

——— 1992. Technology and Anthropology. En: *Elements for an Anthropology of Technology*, pp. 1-24. Anthropological Papers, Museum of Anthropology, University of Michigan, No. 88. Ann Arbor, Michigan, EE.UU.

——— (ed.) 1993. *Technological Choices. Transformation in material cultures since the Neolithic*. Routledge, Londres y Nueva York.

——— 2003. Objects, technical systems and systems of thought. Centre de Recherche et de Documentation sur l'Océanie y Centre National de la Recherche Scientifique, Francia. Disponible en: www.necep.net/papers/OS_Lemonnier.pdf (Acceso marzo de 2015).

LENIHAN, Daniel J.

1983. Rethinking Shipwreck Archaeology: A History of Ideas and Considerations for New Directions. En: Richard Gould (ed.), *Shipwreck Anthropology*, pp. 37-64. University of New Mexico Press, Albuquerque, EE.UU.

LEONE, Mark

1988. The Georgian Order as the order of Merchant Capitalism in Annapolis, Maryland. En: Parker B. Potter y Mark Leone (eds.), *The recovery of meaning. Historical Archaeology in the Eastern United States*, pp. 235-261. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.

LEROI-GOURHAN, André

1971. *El gesto y la palabra*. Publicaciones de la Universidad Central de Venezuela, Caracas.

——— 1988. *Evolución y técnica*, tomo 1 (El Hombre y la materia). Taurus Ediciones, Madrid.

——— 1989. *Evolución y técnica*, tomo 2 (El medio y la técnica). Taurus Ediciones, Madrid.

LÉVI-STRAUSS, Claude

1984 [1958]. *Antropología estructural*. Eudeba, Buenos Aires.

L' HOUR, Michel y Elisabeth VEYRAT

1998. De l'étude archéologique appliquée aux sites d'époque moderne: l'exemple des épaves de la Hougue. En: Giuliano Volpe (ed.), *Archeologia Subacquea. Come opera l'Archeologo sott'acqua storie dalle acque*, pp. 381-408. Quaderni del Dipartimento di Archeologia e Storia Delle Arti Sezione Archeologica, Università di Siena. Edizioni All'insegna del Giglio, Firenze, Italia.

——— 2000-2004. *Un corsaire sous la mer. Les épaves de la Natière, Archéologie sous-marine à Saint-Malo*, 5 vols. Edition Adramar. Saint-Malo, Francia.

LIGHT, John D.

2000. Observations concerning the hand forging of wrought iron. *Materials Characterization* 45:327-340.

——— 2007. A Dictionary of Blacksmithing Terms. *Historical Archaeology* 41 (2):84-157.

LISCHETTI, Mirtha (comp.)

2014. *Antropología*. Eudeba, Buenos Aires

LITTLE, Barbara

1994. People with History: An update on Historical Archaeology in United States. *Journal of Archaeological Method and Theory* 1 (1):5-40.

LOCKYEAR, Kris

1996. *Multivariate Money. A statistical analysis of Roman Republican coin hoards with special reference to material from Romania.* Tesis de Doctorado, Institute of Archaeology, University College London, Londres. Ms.

LON ROMEO, Eduardo

1950. *Trafalgar (Papeles de la Campaña de 1805).* Ediciones Institución Fernando el Católico, Zaragoza, España.

LORUSSO, Hernán, Hernán G. SVOBODA y Horacio DE ROSA

2003. Caracterización microestructural de componentes metálicos hallados en el pecio de Reta. *Actas de las Jornadas SAM/CONAMET*, pp. 1103-1106. Bariloche, Río Negro.

LUSARDI, Wayne R.

2000. The Beaufort Inlet shipwreck project. *The International Journal of Nautical Archaeology* 29 (1):57-68.

MAARLEVELD, Thijs J.

1995. Type or technique. Some thoughts on boat and ship finds as indicative of cultural traditions. *The International Journal of Nautical Archaeology* 24 (1):3-7.

Mackey, P. J. y A. E. Wraith

2004. Development of copper quality: an historical perspective. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy (Trans. Inst. Min. Metall. C)* 113:25-37.

MACLEOD, Christine

1988. *Inventing the Industrial Revolution. The English patent system, 1660-1800.* Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

MACLEOD, Ian

1985. Conservation Report, 1985 *Sirius* Expedition – Norfolk Island. En: Graeme Henderson y Myra Stanbury (eds.), *Report to the Australian Bicentennial Authority on the 1985 Bicentennial Project Expedition to the Wreck of HMS Sirius (1790) at Norfolk Island*, No. 24, pp. 44-65. Department of Maritime Archaeology, Western Australian Maritime Museum, Australia.

——— 1989. The application of corrosion science to the management of maritime archaeological sites. *The Bulletin of the Australian Institute for Maritime Archaeology* 13 (2):7-16.

——— 1994. Conservation of corroded metals – a study of ships' fastenings from the wreck of HMS *Sirius*. En: David A. Scott, Jerry Podany y Brian B. Considine (eds.), *Ancient and Historic Metals Conservation and Scientific Research*, pp. 265-278. Getty Conservation Institute, Los Angeles, EE.UU.

——— 1996. Conservation of Corroded Copper Alloys: A comparison of New and Traditional Methods for Removing Chloride Ions. En: G. Kuppuram y K. Kumudamani (eds.), *Marine Archaeology. The Global Perspectives*, pp. 365-386. New Gyan Offset Press, Nueva Deli.

——— 2002. Effects of structure and composition on the performance of gold and silver alloys on shipwrecks. En: *Proceedings of International Congress on the Conservation and Restoration for Archaeological Objects*, pp. 178-185. National Research Institute for Cultural Properties, Tokio.

MACLEOD, Ian D. y Maria PITRUN

1986. The effects of microstructure on long-term corrosion. *Australasian Corrosion Association, Proceedings Conference 26*, vol. 2, pp. 1-14. Adelaide, Australia.

——— 1996. Metallography of Copper and Its Alloys Recovered From Nineteenth Century Shipwrecks. En: G. Kuppuram y K. Kumudamani (eds.), *Marine Archaeology. The Global Perspectives*, pp. 347-356. New Gyan Offset Press, Nueva Deli.

MACLEOD, I. D. e I. M. RITCHIE

1981. Detection of debasement in (forged) silver coins by means of corrosion potential measurements. *Archaeometry* 23 (1):65-70.

MAHAN, Alfred T.

1892. *The Influence of Sea Power upon the French Revolution and Empire, 1793-1812*, 2 vols. Little, Brown and Company, Boston, EE.UU.

MAIER, Marte S., Blanca A. GÓMEZ, Sara D. PARERA, Dolores ELKIN, Horacio DE ROSA, Nicolás C. CIARLO y Hernán SVOBODA

2010. Characterization of cultural remains associated to a human skeleton found at the site HMS *Swift* (1770). *Journal of Molecular Structure* 978 (1-3): 191-194.

MAISONNEUVE, Bernard de

1992. Excavation of the *Maidstone*, a British man-of-war lost off Noirmoutier in 1747. *The International Journal of Nautical Archaeology* 21 (1):15-26.

MANUCY, Albert

1985. *A Short Illustrated History of Cannon, Emphasizing Types Used in America*. Division of Publications, National Park Service, U.S. Department of the Interior, Washington, D.C.

MARCONETTO, Bernarda, Pablo PICCA, Horacio DE ROSA y Cristian MURRAY

2007. El naufragio del *Hoorn* -1615-. Materiales de un sitio intermareal (Santa Cruz - Argentina). En: Flavia Morello, Mateo Martinic, Alfredo Prieto y Gabriel Bahamonde (eds.), *Arqueología de Fuego-Patagonia. Levantando piedras, desenterrando huesos... y develando arcanos*, pp. 343-349. Ediciones CEQUA, Punta Arenas, Chile.

MARKS, Robert B.

2007. *Los orígenes del mundo moderno*. Crítica, Barcelona.

MÁRQUEZ CARMONA, Lourdes

2000. Trafalgar: investigación de las fuentes documentales. *Boletín del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico* 32:163-174.

MARR, Andrew

2012. A comprehensive investigation of lead sheathing from the Emanuel Point shipwrecks in Pensacola Bay, Florida. Tesis de Maestría, College of Arts and Sciences, The University of West Florida, EE.UU. Ms.

MARTÍ SOLANO, Josefa

2006. Prospecciones y sondeos arqueológicos en el yacimiento subacuático de Bajos de Chapitel: Bahía de Cádiz. *Anuario Arqueológico de Andalucía*, pp. 628-643.

——— (comp.) 2008. Prospecciones y sondeos arqueológicos en el yacimiento subacuático de Chapitel (Bahía de Cádiz). Memoria final, Centro de Arqueología Subacuática del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico. Cádiz, España. Ms.

MARTIN, Brian

2001. Theories of technology. En: *Technology for nonviolent struggle*, pp. 91-96. War Resister's International, Londres.

MARTIN, Paula

2011. Conclusion: Future Directions. En: Alexis Catsambis, Ben Ford y Donny L. Hamilton (eds.), *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology*, pp. 1085-1101. Oxford University Press, Oxford, EE.UU.

MARTÍNEZ, Javier M. y Ramón BOHIGAS ROLDÁN

1999. Excavación arqueológica de la ferrería de Cades. En: *Hierro al mar*, pp. 52-63. Instituto de Estudios Cantabros y Asociación Tajamar, Cantabria, España.

MARTINI, M., M. MILAZZO y M. PIACENTINI (eds.)

2004. *Physics Methods in Archaeometry*. Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi", Course 154, Società Italiana di Fisica. IOS Publishing, Amsterdam.

MARTINÓN-TORRES, Marcos, Xiuzhen J. LI, Andrew BEVAN, Yin XIA, Kun ZHAO y Thilo REHREN

2014. Forty Thousand Arms for a Single Emperor: From Chemical Data to the Labor Organization Behind the Bronze Arrows of the Terracotta Army. *Journal of Archaeological Method and Theory* 21:534-562.

MARX, Karl

[1857] 1987. *Introducción general a la Crítica de la economía política (1857)*. Cuadernos de Pasado y Presente, México.

MCALLISTER, Madeleine

2012. Preliminary analysis of copper alloy fastenings from an unidentified shipwreck in Koombana Bay, Western Australia. *The Bulletin of the Australasian Institute for Maritime Archaeology* 36: 36-43.

MCCARTHY, Michael

2005. *Ships' Fastenings. From Sewn Boat to Steamship*. Texas A&M University Press. EE.UU.

MCCLOY, Shelby T.

1952. *French Inventions of the Eighteenth Century*. University of Kentucky Press, EE.UU.

MCCONNELL, Anita

2007. *Jesse Ramsden (1735-1800). London's Leading Scientific Instrument Maker*. Science, Technology and Culture, 1700-1945. Ashgate, Hampshire, Reino Unido.

MCCONNELL, David

1988. *British Smooth-bore Artillery: A Technological Study to Support Identification, Acquisition, Restoration, Reproduction, and Interpretation of Artillery at National Historic Parks in Canada*. National Historic Parks and Sites Branch, Parks Canada, Ottawa, Ontario, Canadá.

MCGHEE, Fred L.

1998. Towards a Postcolonial Nautical Archaeology. *Assemblage: the Sheffield graduate journal of archaeology* 3. Disponible en: www.assemblage.group.shef.ac.uk/3/3mcghee.htm (Acceso marzo de 2014).

MCKAY, John y Ron COLEMAN

2010. *The 24-Gun Frigate Pandora, 1779. Anatomy of the ship*. Conway Maritime Press, Ltd. Londres.

MCLAUGHLIN-NEYLAND, Kathleen y Bob NEYLAND

1993. *Two prams wrecked on the Zuider Zee in the late eighteenth century. Excavation reports 15 and 16*. Flevovericht N° 383. Nederlands Instituut voor Scheeps en onderwaterArcheologie / ROB (NISA). Lelystad, Flevoland, Países Bajos.

MEIDE, Chuck

2002. The Development and Design of Bronze Ordnance, Sixteenth through Nineteenth Centuries. LAMP Artifact Study No.2 (trabajo preparado para el College of William and Mary, Williamsburg, Virginia). Lighthouse Archaeological Maritime Program, St. Augustine Lighthouse & Museum, Florida, EE.UU. Ms.
——— 2013. The Development of Maritime Archaeology as a Discipline and the Evolving Use of Theory by Maritime Archaeologists. Dissertation Position Paper No. 2, Department of Anthropology, College of William & Mary. Williamsburg, Virginia, EE.UU.

MENANTEAU, Loïc

1999. La última marea. Breve reseña sobre la fábrica de cañones y el molino de marea de Indret (Loire Atlantique, Francia). En: *Hierro al mar*, pp. 152-157. Instituto de Estudios Cántabros y Asociación Tajamar, Cantabria, España.

MENÉNDEZ PELAYO, Marcelino

[1876] 1953-1954. *Menéndez Pelayo, Marcelino (1856-1912). La ciencia española*, 3 vol. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Santander, España. Disponible en: Biblioteca virtual Menéndez Pelayo, www.larramendi.es/menendezpelayo/i18n/corpus/unidad.cmd?idCorpus=1000&posicion=1&idUnidad=101300 (Acceso abril de 2015).

MENTOVICH, E. D., SCHREIBER, D. S., GOREN, Y., KAHANOV, Y., GOREN, H., CVIKEL, D. y D. ASHKENAZI

2010. New insights regarding the Akko 1 shipwreck: a metallurgic and petrographic investigation of the cannonballs. *Journal of Archaeological Science* 37 (10):2520–2528.

MESKELL, Lynn

2005. Introduction: Object Orientations. En: Lynn Meskell (ed.), *Archaeologies of Materiality*, pp. 1-17. Blackwell Publishing, Reino Unido.

MIJAILOV, M. J.

1964. *La Revolución Industrial*. Enciclopedia Popular 4, Editorial Cartago, Buenos Aires.

MILLER, J. T. M.

2011. Methodological Issues for Interdisciplinary Research. *Postgraduate English* 23:1-13.

MINCHINTON, Walter

1983. World Industrial Archaeology: A Survey. *Industrial Archaeology* 15 (2): 125-136.

MOKYR, Joel

2002. *The Gifts of Athena. Historical Origins of the Knowledge Economy*. Princeton University Press, Princeton y Oxford, Reino Unido.

MOLLEDA SÁNCHEZ, Francisco

1997. Pedro Borrell, Eugenio Pérez Montás y Cruz Apestegui (coord.), *La Aventura del Guadalupe. Su viaje a La Española y su hundimiento en la Bahía de Samaná*, pp. 90-91. Comisión de Rescate Arqueológico Submarino, CRAS. Editorial Lunwerg, República Dominicana.

MOLELLA, Arthur P.

1988. Inventing the History of Invention. Three Big Thinkers Who Placed Technology at the Hearth of History. *Bulletin of Science, Technology and Society* 8:278-286.

MONTURIOL, Narcís

[1891] 2006. *Ensayo sobre el arte de navegar por debajo del agua / escrito por el inventor del Ictíneo o Barco-pezu Narciso Monturiol*. Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes, Alicante, España.

MORA-FIGUEROA, Luis de

1993. Verso maymón portugués de hacia 1500, procedente de la Bahía de Cádiz. *Estudios de Historia y de Arqueología Medievales* 9:161-184.

MORGAN, Lewis H.

[1877] 1970. *La sociedad primitiva*. Editorial Ayuso, Madrid.

MROZOWSKI, Stephen A.

1999. Colonization and the commodification of nature. *International Journal of Historical Archaeology* 3 (3):153-166.

MUCKELROY, Keith

1978. *Maritime Archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

MUMFORD, Lewis

1960. *La condición del hombre*. Compañía General Fabril Editora, Buenos Aires.

MUNDO, Ignacio A.

2013. Dendrochronological dating of the Puerto Madero vessel, Buenos Aires, Argentina. Trabajo presentado en la *Second American Dendrochronology Conference*, 13 al 17 de mayo. Arizona, EE.UU.

MURPHY,

1983. Shipwrecks As Data Base for Human Behavioral Studies. En: Richard Gould (ed.), *Shipwreck Anthropology*, pp. 65-89. University of New Mexico Press, Albuquerque, EE.UU.

MURRAY, Cristian, Dolores C. ELKIN y Damián VAINSTUB

2002-2003. The Sloop-of-War HMS *Swift*: An Archaeological Approach. En: Nicholas Tracy (ed.), *The Age of Sail*, pp. 101-115. Conway Maritime Press, Londres.

MURRAY, Cristian, Mónica GROSSO, Dolores ELKIN, Fernando CORONATO, Horacio DE ROSA, María A. CASTRO y Nicolás C. CIARLO

2009. Un sitio costero vulnerable: el naufragio de "Bahía Galenses" (Puerto Madryn, Chubut, Argentina). En: Mónica Salemme, Fernando Santiago, Myriam Álvarez, Ernesto Piana, Martín Vázquez y Estela Mansur (eds.), *Arqueología de la Patagonia. Una mirada desde el último confín*, tomo 2, pp. 1093-1108. Editorial Utopías, Ushuaia.

MURRAY, Cristian, Damián VAINSTUB, Martijn MANDERS y Ricardo BASTIDA

2007. El naufragio del Hoorn -1615-. Prospecciones costeras y subacuáticas en la Ría Deseado (Santa Cruz - Argentina). En: Flavia Morello, Mateo Martinic, Alfredo Prieto y Gabriel Bahamonde (eds.), *Arqueología de Fuego-Patagonia. Levantando piedras, desenterrando huesos... y develando arcanos*, pp. 351-355. Ediciones CEQUA, Punta Arenas, Chile.

——— 2008. *Tras la estela del Hoorn. Arqueología de un naufragio holandés en la Patagonia*. Vázquez Manzini Editores, Buenos Aires.

NASH, Michael

2001a. The *Sydney Cove* historic shipwreck (1797). En: Mark Staniforth y Michael Hyde (eds), 2001, *Maritime Archaeology in Australia: A Reader*, pp. 108-110. Southern Archaeology, Blackwood, Australia. [Este trabajo fue originalmente publicado en *Australian Sea Heritage* 32 (1992):11-13].

——— 2001b. *Cargo for the Colony. The 1797 wreck of the merchant ship Sydney Cove*. Navarine Publishing, Australia.

NASTI, Atilio

2006. Aspectos interpretativos preliminares sobre el naufragio del navío de transporte de tropas español *Salvador* (1812). Libro de resúmenes del *3er Congreso Nacional de Arqueología Histórica*, p. 56. Rosario, Santa Fe, Argentina.

NEF, John U.

1942. War and Economic Progress, 1540-1640. *The Economic History Review* 12 (1/2):13-38.

NEWELL, William H.

2001. A Theory of Interdisciplinary Studies. *Issues in Integrative Studies* 19:1-25.

NEYLAND, Robert S.

1995. Continuity and Change in Dutch Boat Building. En: Paul Forsythe Johnston (ed.), *Underwater Archaeology Proceedings from the Society for Historical Archaeology Conference*, pp. 134-139. The Society for Historical Archaeology, Washington D.C.

NIETO, Javier F.

1984. *Introducción a la arqueología subacuática*. Col·lecció Orígens, Editorial Cymys, Barcelona.

——— 1988. El pecio como fuente de información histórica: El caso Culip IV. *Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología* 25:34-38. Madrid.

NIETO, Javier F., Marcel PUJOL y Gustau VIVAR (eds.)

2013. *El vaixell Triunfante: Una fita de la ciència i de la tècnica del segle XVIII*. Monografies del CASC No.10, Museu d'Arqueologia de Catalunya – Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya, España.

NIETO-GALAN, Agustí

2001. *La seducción de la máquina. Vapores, submarinos e inventores*. Colección Novatores, 2. Nivola, Madrid.

NISSANI, Moti

1997. Ten Cheers for Interdisciplinarity: The Case for Interdisciplinary Knowledge and Research. *The Social Science Journal* 34 (2):201-216.

NORTH, F. J.

1962. *Mining for Metals in Wales*. National Museum of Wales, Gales. Ms. Disponible en: www.aditnow.co.uk/documents/personal-album-128/mining-for-metals-in-wales.pdf (Acceso marzo de 2015).

NORTH, Neil A. e Ian D. MACLEOD

1987. Corrosion of metals. En: Colin Pearson (ed.), *Conservation of Marine Archaeological Objects*, pp. 68-98. Butterworths Series in Conservation and Museology, Londres.

NOVAK, Matt

2013. La fábula del inventor solitario. BBC Future, domingo 26 de mayo de 2013. Disponible en: www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2013/05/130522_mito_inventor_estrella_finde.shtml (Acceso marzo de 2015).

NYE, David E.

2000. Technology. University of Southern Denmark, Dinamarca. Ms. Disponible en: http://static.sdu.dk/mediafiles//Files/Om_SDU/Centre/C_Amerika/publications/tech.pdf (Acceso marzo de 2015).

OERTLING, Thomas J.

1984. The History and Development of Ships' Bilge Pumps, 1500-1840. Tesis de Maestría, Texas A&M University, College Station, EE.UU. Disponible en: nautarch.tamu.edu/academic/alum.htm (Acceso marzo de 2015).

ORSER, Charles, Jr.

1996. *A Historical Archaeology of the Modern World*. Plenum Press, Nueva York y Londres.

ORSER, Charles, Jr. y Brian FAGAN

1995. What is Historical Archaeology? *Historical Archaeology*, pp. 1-22. HarperCollins College Publishers, Nueva York.

PALACIO RAMOS, Rafael

1999. Transformación y comercio del hierro en la Bahía de Santoña y el Río Asón. En: *Hierro al mar*, pp. 144-151. Instituto de Estudios Cántabros y Asociación Tajamar, Cantabria, España.

PALACIOS, Oscar M., Cristina VÁZQUEZ, Tulio A. PALACIOS y Edgardo D. CABANILLAS (eds.)

2009. *Arqueometría Latinoamericana*. Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires.

PAYNTER, Robert

2000. Historical and Anthropological Archaeology. Forging Alliances. *Journal of Archaeological Research* 8 (1):1-24.

PEDROTTA, Victoria y Facundo GÓMEZ ROMERO

1998. Historical Archaeology: an Outlook from the Argentinean Pampas. *International Journal of Historical Archaeology* 2 (2):113-131.

PEREYRA, Pablo, Nicolás C. CIARLO y Horacio DE ROSA

2006. Investigación, análisis y conservación de los restos de un codaste de un antiguo naufragio del Río de la Plata. En: Antonio Austral y Marcela Tamagnini (comp.), *Problemáticas de la Arqueología Contemporánea*, tomo 1, pp. 405-414. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

PFAFFENBERGER, Bryan

1992. Technological Dramas. *Science, Technology & Human Values* 17 (3):282-312.

PIFFERETTI, Adrián A.

2001. Deterioro y recuperación de materiales metálicos sumergidos. En: Mónica P. Valentini (coord.), *Noticias de Antropología y Arqueología. Arqueología Subacuática* (formato CD). Santa Fe, Argentina.

PIFFERETTI, Adrián A. y Raúl BOLMARO (eds.)

2007. *Metodologías científicas aplicadas al estudio de los bienes culturales*. Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina.

PINAULT-SØRENSEN, Madeleine

1992. Les métamorphoses des Planches: quelques exemples. *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie* 12:99-112.

PINEAU, Virginia

2006. Una discusión sobre el concepto de Arqueología histórica desde el Sur del Conosur. En: Alicia H. Tapia, Mariano Ramos y Carlos Baldassarre (eds.), *Estudios de Arqueología Histórica. Investigaciones argentina pluridisciplinarias*, pp. 37-42. Museo de la Ciudad de Río Grande, Tierra del Fuego, Argentina.

PINCH, Trevor J. y Wiebe E. BIJKER

1984. The Social Construction of Facts and Artefacts: Or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other. *Social Studies of Science* 14 (3):399-441.

POLLARD, A. Mark

2013. From Bells to Cannon – the Beginnings of Archaeometallurgy in the 18th Century. *Oxford Journal of Archaeology* 32 (3):335-341.

POLLARD, A. Mark y Peter BRAY

2007. A Bicycle Made for Two? The Integration of Scientific Techniques into Archaeological Interpretation. *Annual Review of Anthropology* 36:245-259.

POMEY, Patrice

2011. Defining a Ship: Architecture, Function, and Human Space. En: Alexis Catsambis, Ben Ford y Donny L. Hamilton (eds.), *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology*, pp. 25-46. Oxford University Press, Oxford, EE.UU.

POTTER, Parker

1992. Critical Archaeology: In the Ground and on the Street. *Historical Archaeology* 26 (3):117-129.

PUJALS DE BASTIDA, Vicente

1862. *Sistema métrico perfecto ó docial, demostración de sus inmensas ventajas sobre el decimal y sobre todo otro sistema de medidas, pesos y monedas*. Imprenta de la Esperanza, Madrid.

PUJANTE IZQUIERDO, Pedro

2001. La Investigación del Patrimonio Cultural Sumergido en Chile: El Programa de Arqueología Subacuática de la Universidad Internacional SEK. *Revista de la Escuela de Antropología* 6:155-169.

PUJOL I HAMELINK, Marcel y Genís ROCA I VERARD

s/f. Historia i evolució de l'arquitectura naval. Ms. disponible en la biblioteca del Centro de Arqueología Subacuática de Cataluña, Museo de Arqueología de Cataluña. Girona, España.

PUJOL I HAMELINK, Marcel y Gustau VIVAR

2009a. Informe de la prospecció i excavació a la Badia de Roses (Roses, Alt Empordà). Informe del Centro de Arqueología Subacuática de Cataluña, Museo Arqueológico de Cataluña, Girona, España. Ms.
 ———— 2009b. Informe de l'excavació al derelicte *Triunfante* 2009 (Roses, Alt Empordà). Informe del Centro de Arqueología Subacuática de Cataluña, Museo Arqueológico de Cataluña, Girona, España. Ms.
 ———— 2011. Informe de l'excavació al derelicte *Triunfante* 2010 (Sant Pere Pescador, Alt Empordà). Informe del Centro de Arqueología Subacuática de Cataluña, Museo Arqueológico de Cataluña, Girona, España. Ms.

PUJOL I HAMELINK, Marcel, Pablo DE LA FUENTE y Gustau VIVAR

2011. El navío *Triunfante*: Jorge Juan y la construcción a la inglesa. *Actas de las Jornadas de ARQUA 2011*, pp. 124-130. Secretaría General Técnica, Subdirección General de Documentación y Publicaciones del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Cartagena, España.

RAMOS, Mariano

2002. El proceso de investigación en la denominada Arqueología Histórica. *Arqueología Histórica Argentina*, pp. 645-658. Corregidor, Buenos Aires.

——— 2006. Cuestiones antropológicas y la denominada Arqueología histórica. Reproducción de las ideologías dominantes. En: Alicia H. Tapia, Mariano Ramos y Carlos Baldassarre (eds.), *Estudios de Arqueología Histórica. Investigaciones argentinas pluridisciplinarias*, pp. 21-36. Museo de la Ciudad de Río Grande, Tierra del Fuego, Argentina.

REES, Gareth

1971. Copper Sheathing. An Example of Technological Diffusion in the English Merchant Fleet. *The Journal of Transport History, New Series* 1 (2):85-94.

REHREN, Thilo

2002. Object Integrity: or Why Do We Excavate? *Papers from the Institute of Archaeology* 13:9-12. Institute of Archaeology, University College London. Reino Unido.

REHREN, Thilo y Ernst PERNICKA

2008. Coins, Artefacts and Isotopes – Archaeometallurgy and Archaeometry. *Archaeometry* 50:232-248.

RENFREW, Colin

2001a. From social to cognitive archaeology: An interview with Colin Renfrew. *Journal of Social Archaeology* 1 (1):13-34.

——— 2001b. Symbol before Concept. Material Engagement and the Early Development of Society. En: Ian Hodder (ed.), *Archaeological Theory Today*, pp. 122-140. Polity Press, Cambridge, Reino Unido.

REYES, J., J. GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, H. BARBA, C. HUITZ, F. BERNÉS, R. ESCAMILLA y T. PÉREZ

2010. Estudios sobre Degradación del Patrimonio Histórico en el Estado de Campeche. Centro de Investigación en Corrosión, Universidad Autónoma de Campeche, México. Disponible en: www.respyn.uanl.mx/especiales/.../ee.../AM6_res_extenso_J._Reyes.pdf (Acceso marzo de 2015).

REYNOLDS, Clark G.

2000. *Las Armadas en la Historia*. Instituto de Publicaciones Navales, Buenos Aires.

RIBEIRO, Darcy

1971. *El proceso civilizatorio: de la revolución agrícola a la termonuclear*. Centro Editor de América Latina, Buenos Aires.

RIERA, Santiago

1992. *Tecnología en la Ilustración*. Historia de la Ciencia y de la Técnica, vol. 34. Akal, Madrid.

RIVERA, Adriana

2009. El tesoro que naufragó en La Sabana. Nota periodística del diario *El Nacional*, Sección Primera, p. 1, del 16 de agosto de 2009. Caracas, Venezuela.

RODGER, Nicholas A. M.

1996. *The Wooden World. An Anatomy of the Georgian Navy*. W. W. Norton & Company, Londres.

———. 2006. *The Command of the Ocean. A Naval History of Britain, 1649-1815*. Penguin Books, Londres.

RODGERS, Bradley A., Hank CANTELAS, Jeff BOWDOIN, Raymond L HAYES, Lauren HERMLEY y Lyle LENTZ 2006. *The 1996 Anguilla Shipwreck Survey*. Research Report No. 15, Program of Maritime Studies, East Carolina University, Greenville, Carolina del Norte, EE.UU. Disponible en: www.ecu.edu/cs-cas/maritime/upload/ecur015.pdf (Acceso marzo de 2014).

RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, Agustín R.

2014. Las innovaciones artilleras y tácticas españolas en la campaña de Trafalgar. *Historia Militar* (revista digital). Disponible en: historiamilitar.es/index.php/las-innovaciones-artilleras-y-tacticas-espanolas-en-la-campana-de-trafalgar (Acceso marzo de 2015).

RODRÍGUEZ MARISCAL, Nuria (comp.)

2010. Sondeos arqueológicos subacuáticos en el pecio de Camposoto (San Fernando, Cádiz). Memoria final, Centro de Arqueología Subacuática del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico. Cádiz, España. Ms.

RODRÍGUEZ MARISCAL, Nuria, Milagros ÁLZAGA, Manuel IZAGUIRRE, Eric RIETH y Lourdes MÁRQUEZ CARMONA

2014. El *Fougueux*, análisis del sistema constructivo de un navío de línea de la armada imperial de Napoleón Bonaparte. Actas del *I Congreso de Arqueología Náutica y Subacuática Española*, Museo Nacional de Arqueología Subacuática, 14 al 16 de marzo de 2013. Cartagena, España (en prensa).

RODRÍGUEZ MARISCAL, Nuria y Josefa MARTÍ SOLANO

2001. Actuación arqueológica subacuática en los bajos al noroeste de la ciudad de Cádiz. *Boletín del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico* 36:75-82.

RODRÍGUEZ MARISCAL, Nuria, Eric RIETH y Manuel IZAGUIRRE

2010. Investigaciones en el pecio de Camposoto: hacia la identificación del navío francés *Fougueux*. *Boletín del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico* 75:94-107.

RODRÍGUEZ-VILLASANTE PRIETO, Juan A.

1999. Hierro para la Armada: el Arsenal de Ferrol. En: *Hierro al mar*, pp. 136-143. Instituto de Estudios Cántabros y Asociación Tajamar, Cantabria, España.

ROSS, Lester A.

1983. *Archaeological metrology: English, French, Canadian and American systems of weights and measures for North American Historical Archaeology*. History and Archaeology No.68, National Historic Parks and Sites Branch, Parks Canada, Minister of the Environment, Ottawa, Canadá.

ROSSI, Paolo

1966. *Los filósofos y las máquinas 1400-1700*. Editorial Labor, S.A., Barcelona.

ROTH, Rudi

1989. A proposed standard in the reporting of historic artillery. *The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration* 18 (3):191-202.

1995. The reporting of ordnance: the guns from the *Mauritius*, a casebook study. En: Mensun Bound (ed.), *The Archaeology of Ships of War*, pp. 120-129. The International Maritime Archaeology Series, vol. 1, University of Oxford. Anthony Nelson Publishers, Shropshire, Reino Unido.

RUPPÉ, Carol V. y Janet F. BARSTAD (eds.)

2002. *International Handbook of Underwater Archaeology*. Kluwer Academic - Plenum Publishers. Nueva York. EE.UU.

SAINTY, John C. (ed.)

1975. Office-Holders in Modern Britain: Volume 4, Admiralty Officials 1660-1870. Publicado originalmente por la Universidad de Londres, Reino Unido. Disponible en: British History Online, www.british-history.ac.uk/office-holders/vol4 (Acceso marzo de 2015).

SALDIVIA, Zenobio

1999. La antigua tarea de ordenar y clasificar a las ciencias. *Universum* 24 (1):206-216.

——— 2007. Las academias científicas y su aporte al desarrollo de las ciencias. *Revista electrónica Thélós* 3.

SAMUELS, Leonard E.

1980. The metallography of cast iron relics from the Bark Endeavour. *Metallography* 13 (4):345-355.

——— 1983. The metallography of some copper-alloy relics from HMS *Sirius*. *Metallography* 16:69-79.

——— 1992. Australia's Contribution to Archaeometallurgy. *Materials Characterization* 29:69-109.

SANHUEZA, Carlos

2004. Viajes e identidad. La experiencia de la distancia en la construcción de lo propio. *Patrimonio Cultural* 33:28-29. Revista estacional de la Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos (Dibam) del Ministerio de Educación de Chile, Santiago de Chile.

SANJURJO JUL, José M.

2007. La artillería naval en el siglo XVIII y en la Batalla de Trafalgar. En: José J. Pavía Paradedda (ed.), *Cátedra Jorge Juan. Ciclo de conferencias, curso 2004-2005*, pp. 21-51. Servizo de Publicacións, Universidade da Coruña, La Coruña, España.

SAN SEGUNDO MANUEL, Rosa

1996. *Sistemas de organización del conocimiento. La organización del conocimiento en las bibliotecas españolas*. Universidad Carlos III de Madrid. Boletín Oficial del Estado, Madrid.

SANTANA, Alberto, Marta ZABALA, María J. TORRECILLA y Maite IBÁÑEZ

1999. Bilbao: la montaña de hierro. En: *Hierro al mar*, pp. 28-37. Instituto de Estudios Cántabros y Asociación Tajamar, Cantabria, España.

SCHMITT, Carl

2010. *Diálogo sobre el poder y el acceso al poderoso*. Fondo de Cultura Económica, Buenos Aires.

SCHWARTZ, Frank J. y James GREEN

1962. Found: One anchor from HMS *Dictator*. *Maryland Historical Magazine* 57 (4):367-370.

SCOTT, David A.

1991. *Metallography and Microstructure in Ancient and Historic Metals*. Getty Conservation Institute & Archetype Books, EE.UU.

SÉE, Henri

1969. *Orígenes del capitalismo moderno*. 2a. ed. (primera edición en francés de 1929). Fondo de Cultura Económica, México.

SEIGNOBOS, Charles y Albert MÉTIN

1962. Historia moderna desde 1715 a 1815. *Historia universal*, tomo V. Amauta, Buenos Aires.

SENATORE, María X. y Andrés ZARANKIN

1996. Perspectivas metodológicas en Arqueología Histórica. Reflexiones sobre la utilización de la evidencia documental. *Páginas sobre Hispanoamérica Colonial, Sociedad y Cultura* 3:113-122. PRHISCO, Buenos Aires.

SERRANO ÁLVAREZ, José M.

2013. La evolución del control financiero de la Armada española, 1700-1820: una síntesis interpretativa. *Revista de Historia Naval* 121:7-36.

SETIÉN, J. y J. A. DÍEZ-AJA

2008. Aproximación histórica y metalúrgica a los primeros hornos altos españoles: las fábricas de artillería de Liérganes y La Cavada. *Revista de Metalurgia* 44 (4):299-309.

SHENNAN, Stephen J.

1992. *Arqueología Cuantitativa*. Editorial Crítica, Barcelona, España.

SIDDERS, Juan C.

1982. *Veleros del Plata. Elementos de Arqueología Naval*. Instituto de Publicaciones Navales, Buenos Aires.

SIERRA, Juan Luis

2003. La conservación de la madera arqueológica subacuática. Museo y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarina. *Monte Buciero 9. La conservación del material arqueológico subacuático*, pp. 227-266. Casa de Cultura de Santoña, Cantabria, España.

SINKO, Robert J. y Charlie R. BROOKS

1992. Microstructural Analysis of Brass and Zinc Nails from the Wreckage of a Sailing Ship. *Materials Characterization* 29:259-265.

SMEATON, W. A.

1997. Bertrand Pelletier, Master Pharmacist. *Platinum Metals Review* 41 (2):86-88.

SMITH, Charles W.

1996. The English George III Contemporary Counterfeit Halfpenny Series: A Statistical Study of Production and Distribution. En: Philip L. Mossman (ed.), *Coinage of the American Confederation Period*, pp. 23-53. The American Numismatic Society, Nueva York, EE.UU.

SMITH, Tim

2000. *Old Pattern Admiralty Long Shanked Anchor* (North Head, Sydney). Conservation Management Plan. NSW Heritage Office, Sydney, Australia.

SOBOUL, Albert

1986. *La Revolución Francesa*. Hyspamerica, Buenos Aires.

STAMMERS, Michael K.

2001. Iron knees in wooden vessels – an attempt at a typology. *The International Journal of Nautical Archaeology* 30 (1):115-121.

STANBURY, Myra

1994. *HMS Sirius 1790: an illustrated catalogue of artefacts recovered from the wreck site at Norfolk Island*. Australian Institute for Maritime Archaeology, Special Publication No.7, Adelaide, Australia.

——— 1998. HMS *Sirius*: 'reconstructed... pygmy battle ship' or 'appropriate' 6th Rate vessel? En: Mensun Bound (ed.), *Excavating Ships of War*, pp. 217-229. The International Maritime Archaeology Series, vol. 2, University of Oxford. Anthony Nelson Publishers, Shropshire, Reino Unido.

STANIFORTH, Mark

1985. The introduction and use of Copper Sheathing – A history. *The Bulletin of the Australian Institute for Maritime Archaeology* 9 (1-2):21-48.

STARLEY, David

1995. Metallographic examination. The Historical Metallurgy Society: Archaeology Datasheet No.11. Disponible en: hist-met.org/hmsdatasheet11.pdf (Acceso marzo de 2015).

STEFANIAK, Elżbieta A., Larysa DARCHUK, Cristina VÁZQUEZ, Dolores ELKIN, Yaroslava MAKAROVSKA, Katleen VAN MEEL, Anna WOROBIEC y René VAN GRIEKEN

2008. Application of Raman microscopy to the analysis of china pieces recovered from the English warship HMS Swift sunk near the coast of Patagonia in 1770. Trabajo presentado en la *8th International Conference of Infrared and Raman Users Group (IRUG-8)*, 26 al 29 de marzo. Academy of Fine Arts, Viena, Austria. Ms.

STEFFY, Richard

1978. Maximum Results from Minimum Remains. En: J. B. Arnold III (ed.), *Beneath the Waters of Time* (Proceedings of the Ninth Conference of Underwater Archaeology), pp. 53-55. Texas Antiquities Committee Publication No. 6. Austin, Texas, EE.UU.

STEVENS, Todd y Robin BURROWS

2013. Location of the Colossus Sheet Anchor Perhaps? Scillypedia: Encyclopedia of the Isles of Scilly. Disponible en: <http://scillypedia.co.uk/NavalAnchor1800.htm> (Acceso marzo de 2015).

SULLIVAN, Catherine

1986. *Legacy of the Machault. A Collection of 18th-century Artifacts*. Studies in Archaeology, Architecture and History. National Historic Sites, Environment Canada, Ottawa, Ontario.

SUMIDA, Jon T.

2006. Geography, Technology, and British Naval Strategy in the *Dreadnought* Era. *Naval War College Review* 59 (3):89-102.

SUMMER INSTITUTE IN MATERIAL SCIENCE AND MATERIAL CULTURE

2003. *The Metallographic Examination of Archaeological Artifacts*. Massachusetts Institute of Technology, EE.UU. Disponible en: http://ocw.mit.edu/courses/materials-science-and-engineering/3-094-materials-in-human-experience-spring-2004/laboratories/manual_suppl.pdf (Acceso marzo de 2015).

SVOBODA, Hernán G., Horacio DE ROSA y Hernán LORUSSO

2005. Estudio de un ancla antigua hallada en el lecho del río de la Plata. *Actas del Congreso Binacional SAM-CONAMET*. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

SWITZER, David C.

1998. The *Defense*. En: Mensun Bound (ed.), *Excavating Ships of War*, pp. 182-193. The International Maritime Archaeology Series, vol. 2, University of Oxford. Anthony Nelson Publishers, Shropshire, Reino Unido.

SYMONS, John C.

2003. The Mining and Smelting of Copper in England and Wales, 1760-1820. Tesis de Maestría, Coventry University y University College Worcester, Reino Unido. Disponible en: <http://eprints.worc.ac.uk/293/> (Acceso marzo de 2015).

SZOSTAK, Rick

2011. The Interdisciplinarity Research Process. En: Allen F. Repko, William H. Newell y Rick Szostak (eds.), *Case Studies in Interdisciplinary Research*, pp. 3-19. SAGE Publications, Thousand Oaks, California, EE.UU.

——— 2013. The State of the Field: Interdisciplinary Research. *Issues in Interdisciplinary Studies* 31:44-65.

TAEKEMA, Sanne H. y Bart M. J. VAN KLINK

2011. On the Border. Limits and Possibilities of Interdisciplinary Research. En: Bart M. J. van Klink y Sanne H. Taekema (eds.), *Law and Method. Interdisciplinary Research into Law*, pp.7-32. Tübingen: Mohr Siebeck.

TAILLEMITE, Etienne

2003. *Histoire ignorée de la marine française*. Perrin, París.

TARACHA, Cezary

2001. El Marqués de la Ensenada y los servicios secretos españoles en la época de Fernando VI. *Brocar* 25:109-121.

TARLTON, Kelly

1977. The search for and discovery of anchors lost in 1769 by the French explorer de Surville at Doubtless Bay, New Zealand. *The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration* 6 (1):64-70.

TELECHEA IDÍGORAS, José I.

1977. *Anclas de Hernani: el registro de cartas de D. Francisco Antonio de Oquendo, Inspector de la Fábrica de Anclas (1750-1755)*. Grupo Dr. Camino de Historia Donostiarra de la Real Sociedad Vascongada de los Amigos del País. San Sebastián, Guipúzcoa, España.

TORREJÓN CHAVES, Juan

1997. La Artillería en la Marina española del siglo XVIII. *Militaria. Revista de Cultura Militar* 10:291-324.

TRETHEWEY, Kenneth R. y John CHAMBERLAIN

1988. *Corrosion for Students of Science and Engineering*. Longman Scientific & Technical, Burnt Mill, Reino Unido.

TRIGGER, Bruce G.

1992. *Historia del pensamiento arqueológico*. Editorial Crítica, Barcelona.

TYKOT, Robert H.

2004. Scientific methods and applications to archaeological provenance studies. En: M. Martini y M. Piacentini (eds.), *Physics Methods in Archaeometry* (Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi" Course CLIV), pp. 407-432. IOS Press, Amsterdam.

TYLECOTE, Ronald F. T.

1976. *A history of metallurgy*. The Metals society, Londres.

——— 1977. Durable materials for sea water: the archaeological evidence. *The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration* 6 (4):269-283.

UPHAM, N. E.

1983. *Anchors*. Shire Publications, Londres.

URE, Andrew

1853. *A Dictionary of Arts, Manufactures, and Mines*. Little, Brown and Co., Boston, EE.UU.

URIARTE AYO, Rafael

2003. El hierro vasco y los mercados europeos y colonial durante el Antiguo Régimen. *Itsas Memoria. Revista de Estudios Marítimos del País Vasco* 4:313-326.

URQUIJO GOITIA, José Ramón

2008. *Gobiernos y Ministros Españoles en la Edad Contemporánea*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.

URTEAGA, Mertxe

1999. La industria del hierro en Guipúzcoa. En: *Hierro al mar*, pp. 38-44. Instituto de Estudios Cántabros y Asociación Tajamar, Cantabria, España.

USHER, Abbott P.

1988. *A History of Mechanical Inventions*. 2a. ed. revisada (primera edición de 1929). Dover Publications, Inc., Nueva York.

U.S. NAVAL INSTITUTE

1952. The History of the Prevention of Fouling. Marine Fouling and its Prevention, cap. 11, pp. 211-223. Contribution No.580, Woods Hole Oceanographic Institute. George Banta Publishing Co., Menasha, WI, EE.UU.

VANDER VOORT, George F.

2004. Light Microscopy. En: George F. Vander Voort (ed.), *ASM Handbook*, vol. 9 (Metallography and Microstructures), pp. 332-354. ASM International, EE.UU.

VÁZQUEZ, Cristina, Susana BOEYKENS y Dolores ELKIN

2010. The Use of Total Reflection X-Ray Fluorescence in an Underwater Archaeology Case Study. *Technical Briefs in Historical Archaeology* 5:10-15.

VIDAL, Aixa S.

2009. La arqueometría americana en la actualidad: un pequeño paso para el investigador, un gran salto para la disciplina. En: Oscar M. Palacios, Cristina Vázquez, Tulio A. Palacios y Edgardo Cabanillas (eds.), *Arqueometría Latinoamericana*, vol. 1, pp. 15-24. Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires.

VIDAL TORRES CABALLERO, José

1994. Reflexiones sobre la terminología lingüístico-gramatical. *Cauce: Revista de filología y su didáctica* 17: 83-106.

VIDUKA, Andrew y Sharon NESS

2004. Analysis of some copper-alloy items from HMAV *Bounty* wrecked at Pitcairn Island in 1790. *Proceedings of Metal*, pp. 160-172. National Museum of Australia, Canberra, Australia.

VIVAR, Gustau, Rut GELI y Xavier NIETO

2014. Deltebre I. Un barco hundido en la desembocadura del Ebro durante la Guerra del Francés. Actas del *I Congreso de Arqueología Náutica y Subacuática Española*, Museo Nacional de Arqueología Subacuática, 14 al 16 de marzo de 2013. Cartagena, España (en prensa).

VON ARNIM, Yann

1998. The wreck of the 5th rated British frigate HMS *Sirius* (1797) in Mauritius. *The Bulletin of the Australian Institute for Maritime Archaeology* 22:35-44.

WALLERSTEIN, Immanuel

2014. *El capitalismo histórico*. 2a. ed. (primera edición en inglés de 1988), Siglo XXI de España Editores, S.A., Madrid.

WATSON, Patty J.

1983. Method and Theory in Shipwreck Archaeology. En: Richard Gould (ed.), *Shipwreck Anthropology*, pp. 23-36. University of New Mexico Press, Albuquerque, EE.UU.

WATTS, Gordon P. Jr. y Michael C. KRIVOR

1995. Investigations of an 18th-century English shipwreck in Bermuda. *The International Journal of Nautical Archaeology* 24 (2):97-108.

WAYMAN, M. L.

2004. Metallography of Archaeological Alloys. En: George F. Vander Voort (ed.), *ASM Handbook*, vol. 9 (Metallography and Microstructures), pp. 468-477. ASM International, EE.UU.

WHAN, Ruth E. (coord.)

1998. *ASM Handbook: Materials Characterization*, vol. 10. ASM Handbook Committee, EE.UU.

WEITZ, Morris

1977. *The Opening Mind. A Philosophical Study of Humanistic Concepts*. The University of Chicago Press, Londres.

WELLS, Christian E.

2014. Archaeometry: Definition. En: Claire Smith (ed.), *Encyclopedia of Global Archaeology*, pp. 468-470. Springer, Nueva York.

WELTER, Jean-Marie

2003. The zinc content of brass: a chronological indicator? *Techne* 18:27-36.

WESTERDAHL, Christer

1994. Maritime cultures and ship types: brief comments on the significance of maritime archaeology. *The International Journal of Nautical Archaeology* 23 (4):265-270.

WHITE, Charles B.

1993. Gray Iron. *ASM Handbook*, vol. 1 (Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys), pp. 38-88. ASM International Handbook Committee, EE.UU.

WILKIE, Laurie A.

2006. Documentary archaeology. En: Dan Hicks y Mary Beaudry (eds.), *The Cambridge Companion to Historical Archaeology*, pp. 13-33. Cambridge University Press, Reino Unido.

WILLIAMS, Scott S.

2015. An 'Old Admiralty Longshank' Anchor from Admiralty Bay, Washington: The HMS Chatham's Lost Anchor? Trabajo presentado en la *48th Annual Conference on Historical and Underwater Archaeology*, 6 al 11 de enero. Society for Historical Archaeology, Seattle, Washington, EE.UU.

WILLIAMS, D. J. y W. JOHNSON

2000. A note on casting iron cannon balls: ideality and porosity. *International Journal of Impact Engineering* 24:429-433.

WINFIELD, Rif

2005. *The 50-Gun Ship. A Complete History*. Mercury Books, Londres.

WOLF, Eric R.

1993. *Europa y la gente sin historia*. Fondo de Cultura Económica, México.

WYLIE, Alison

2002. *Thinking from Things. Essays in the Philosophy of Archaeology*. University of California Press, Los Angeles, California, EE.UU.

ZACHARCHUK, Walter y Peter J. A. WADDELL

1986. *The excavation of the Machault. An 18th-Century French Frigate*. Studies in Archaeology, Architecture and History, National Historic Parks and Sites, Environment Canada, Ontario, Canadá.

ZANCO, Jean-Philippe (dir.)

2011. *Dictionnaire des ministres de la Marine 1689-1958*. Colección Kronos, ediciones SPM, París.

ZEITLIN, Irving

1982. El Iluminismo: sus fundamentos filosóficos. En: *Ideología y teoría ideológica*, pp. 13-20. Amorrortu, Buenos Aires.

ZORI, Davide

2007. Nails, Rivets, and Clench Bolts: A Case for Typological Clarity. *Archaeologia Islandica* 6:32-47.