

MetalEspaña 2020/2021

III Congreso de Conservación y Restauración del Patrimonio Metálico

Joaquín Barrio Martín
Milagros Buendía Ortuño (eds.)

SECYR >>
Servicio de Conservación, Restauración y
Estudios Científicos del Patrimonio Arqueológico



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CULTURA
Y DEPORTE

ARQVA

Museo Nacional
de Arqueología Subacuática



MUSEO
CASA DE LA MONEDA

UAM Universidad Autónoma
de Madrid

Anejos nº 6 | 2022

Departamento de Prehistoria y Arqueología
Facultad de Filosofía y Letras,
Vicerrectorado de Investigación
Universidad Autónoma de Madrid

**Cuadernos
de Prehistoria
y Arqueología**
de la Universidad Autónoma de Madrid

MetalEspaña 2020/2021

III Congreso de Conservación y Restauración del Patrimonio Metálico

Joaquín Barrio Martín
Milagros Buendía Ortuño
(eds.)



Universidad Autónoma
de Madrid

Departamento de Prehistoria y Arqueología
Facultad de Filosofía y Letras
Vicerrectorado de Investigación
Universidad Autónoma de Madrid

Índice

Presentación	15
SESIÓN I. CIENCIA Y TECNOLOGÍAS DE INVESTIGACIÓN DEL PATRIMONIO METÁLICO	
Electrochemical techniques for dating metallic heritage	21
Técnicas electroquímicas para la datación del patrimonio metálico	
ANTONIO DOMÉNECH-CARBÓ	
Caracterización, diagnóstico y conservación de los lingotes de cobre del Pecio Arapal (Sancti Petri, Cádiz)	29
Characterization, diagnosis and conservation of copper ingots from the Arapal Wreck (Sancti Petri, Cadiz)	
ROCÍO MORÓN, MARÍA LLÜISA MATAS, LUIS CARLOS ZAMBRANO, FELIPE CEREZO Y MANUEL BETHENCOURT	
Estrategias innovadoras para la conservación preventiva de los objetos metálicos en colecciones de museos	39
Innovative strategies for the preventive conservation of metallic objects in museum collections	
MARÍA TERESA MOLINA, BLANCA RAMÍREZ, IVÁN DÍAZ Y EMILIO CANO	
Estudio de la efectividad del ácido tánico sobre piezas de hierro arqueológico	47
Study of the effectiveness of tannic acid on archaeological iron pieces	
TANIA PÉREZ TORDERA, ANTONIO DOMÉNECH-CARBÓ Y MONTSERRAT LASTRAS PÉREZ	
Estudio radiográfico de los metales arqueológicos de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz)	55
Radiographic study of the archaeological metals of Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz)	
INMACULADA DONATE, MIRIAM BUESO, ESTHER RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, SEBASTIÁN CELESTINO Y JOAQUÍN BARRIO	
Extrapolación de técnicas no habituales en la reproducción de elementos metálicos asociados al Patrimonio Documental	65
Extrapolation of unusual techniques in the reproduction of metallic elements associated with Documentary Heritage	
ÍÑIGO GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, JUAN BERMEJO-SOLER, ESTÍBALIZ LAMA OCHOA Y M ^a DOLORES RODRÍGUEZ LASO	

Aportación de la técnica FIB-FESEM-EDX al estudio del patrimonio en metal	71
Contribution of FIB-FESEM-EDX technique to the study of Metal Heritage	
CARLA ÁLVAREZ ROMERO, CAROLINA MAI CEROVAZ, MARÍA TERESA DOMÉNECH-CARBÓ, ANTONIO DOMÉNECH-CARBÓ, MILAGROS BUENDÍA ORTUÑO Y TRINIDAD PASÍES OVIEDO	
Nueva metodología para la eliminación de la corrosión en patrimonio metálico arqueológico: buffers, quelantes, geles y emulsiones	81
New methodology for the elimination of corrosion in archaeological metal heritage: buffers, chelators, gels and emulsions	
SILVIA MARÍN ORTEGA	
Medida directa de potenciales de circuito abierto como técnica no invasiva de evaluación del grado de corrosión de objetos arqueológicos	87
Direct measurement of open circuit potentials as a non-invasive technique for evaluating the degree of corrosion of archaeological objects	
MARÍA AMPARO PEIRÓ RONDA Y ANTONIO DOMÉNECH-CARBÓ	
Restauración virtual y recreación de uno de los jarros de bronce de la estancia del banquete (S-1) del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz), los medios digitales como continuidad de la restauración física	97
Virtual restoration and recreation of one of the bronze jugs from the banquet room (S-1) from the Casas del Turuñuelo site (Guareña, Badajoz), digital media as continuity of the physical restoration	
BÁRBARA MARTÍN GÓMEZ, ESTHER RODRÍGUEZ GONZÁLEZ Y SEBASTIÁN CELESTINO	
Estudio arqueológico y restauración de espuelas bajomedievales de Asturias	107
Archaeological study and restoration of late medieval spurs in Asturias	
SILVIA PÉREZ-DIEZ, BEATRIZ GARCÍA-ALONSO, LUIS J. FERNÁNDEZ-MENÉNDEZ, LARA LOBO, NEREA BORDEL, MAITE MAGUREGUI, NOELIA FERNÁNDEZ-CALDERÓN Y ALEJANDRO GARCÍA ÁLVAREZ-BUSTO	

Sesión II. MONEDAS Y PATRIMONIO NUMISMÁTICO: ESTUDIOS, PROYECTOS, RESTAURACIONES Y MUSEOS

El Museo Casa de la Moneda. La colección de moneda islámica	117
The Museo Casa de la Moneda. The Islamic Coin Collection	
ALBERTO J. CANTO GARCÍA	
Composición y características de la acuñación de dos cecas hispanorromanas: análisis aplicados a las monedas de <i>Caesar Augusta</i> (Zaragoza) y <i>Emerita Augusta</i> (Mérida)	129
Composition and characteristics of the coinage of two Hispano-Roman mints: analysis applied to the coins of <i>Caesar Augusta</i> (Zaragoza) and <i>Emerita Augusta</i> (Merida)	
CRUCES BLÁZQUEZ CERRATO, MARTA GÓMEZ BARREIRO, JOSÉ MANUEL COMPAÑA PRIETO, JUAN GÓMEZ BARREIRO, CARMELO FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, RUFO MARTÍN MATEO E INÉS PUENTE ORENCH	

Patrimonio Industrial en el Museo de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre de Madrid. Su conservación	139
Industrial Heritage in the Museum of the Fábrica Nacional de Moneda y Timbre of Madrid. Its conservation	
SARA MARTÍN DE ANDRÉS Y BEATRIZ RUBIO VELASCO	
La moneda en las <i>cetariae</i> de <i>Gadir-Gades</i>	149
The coin in the <i>cetariae</i> of <i>Gadir-Gades</i>	
ELENA MORENO PULIDO, ALICIA ARÉVALO GONZÁLEZ Y JOSÉ ÁNGEL EXPÓSITO ÁLVAREZ	
Los criterios de intervención y el análisis científico en la restauración de un conjunto de monedas de plata emirales del yacimiento arqueológico La Ermita del Sacedal, en El Rebollar de El Boalo (Madrid)	159
Intervention criteria and scientific analysis in conservation of a set of Emiral silver coins from the archaeological site La Ermita del Sacedal, el Rebollar de El Boalo (Madrid)	
ANA ISABEL PARDO NARANJO, MARÍA CRUZ MEDINA SÁNCHEZ Y MANUEL BLANCO DOMÍNGUEZ	
El tesoro de monedas de plata de las taifas del siglo XI hallado en Jaén en 1914: proceso de restauración	167
The treasure of silver coins from the taifa of the 11 th century found in Jaén in 1914: restoration process	
ALBERTO J. CANTO GARCÍA, WIOLETA JABŁOŃSKA Y ANA ISABEL PARDO NARANJO	
Tratamiento de conservación-estabilización aplicado al conjunto numismático recuperado de la Fragata <i>Nuestra Señora de las Mercedes</i>	177
Conservation and stabilization treatment applied to numismatic set recovered from the frigate <i>Nuestra Señora de las Mercedes</i>	
SOLEDAD DÍAZ MARTÍNEZ	
Moneda y circulación monetaria en el ámbito minero del reborde meridional de la meseta sur. Un proyecto de investigación en marcha	185
Currency and monetary circulation in the mining area of the southern edge of the southern plateau. An ongoing research project	
MAR ZARZALEJOS PRIETO Y ALICIA ARÉVALO GONZÁLEZ	
Con la colaboración de: JOAQUÍN BARRIO MARTÍN Y ANA ISABEL PARDO NARANJO	
Intervención de urgencia de conjunto de monedas y vajilla de bronce de Pompeya. Una restauración de campaña junto al Vesubio	195
Urgent intervention of a set of coins and bronze tableware from Pompeii. A campaign restoration next to Vesuvius	
BETLEM MARTÍNEZ PLA	
Restauración y conservación de un conjunto de monedas (La Bienvenida)	205
Restoration and conservation of a set of coins (La Bienvenida)	
FRANCISCO DEL PESO ROSADO	

SESIÓN III. PATRIMONIO METÁLICO ARQUEOLÓGICO

La experiencia de conservar metales: una labor de aprendizaje continuo	213
The experience of preserving metals: a work of continuous learning	
MARÍA ANTONIA MORENO CIFUENTES	
Conservación. Propuesta metodológica para un caso práctico en el Pórtico Oriental de Plaza de Armas en <i>Madīnat al-Zahrā</i> (Córdoba)	223
Conservation. Methodological proposal for a practical case in the Portico Oriental of the Plaza de Armas in <i>Madīnat al-Zahrā</i> (Córdoba)	
INMACULADA C. MUÑOZ MATUTE Y ALEJANDRA DEL PINO CAMPOS	
Arqueología y Restauración: un caso práctico en el Pórtico Oriental de la Plaza de Armas de <i>Madīnat al-Zahrā</i> (Córdoba)	231
Archaeology and Restoration: A practical example of the Pórtico Oriental of the Plaza de Armas in <i>Madīnat al-Zahrā</i> (Córdoba)	
MARÍA MUÑOZ MORA, WIOLETA JABŁOŃSKA Y ALEJANDRO UGOLINI SÁNCHEZ-BARROSO	
Ciudad de México: un entorno excepcional para la corrosión de metales arqueológicos. Estudio de caso	239
Mexico City: an exceptional environment for archaeological metal corrosion. Case study	
ÁNGEL ERNESTO GARCÍA ABAJO, TERESITA LÓPEZ ORTEGA Y JOSÉ ANTONIO LÓPEZ PALACIOS	
Conservación y estudio arqueológico de piezas ibéricas y vacceo-romanas de bronce y hierro procedentes de <i>Dessobriga</i> (Palencia)	249
Conservation and archaeological study of Iberian and Vacceo-Roman bronze and iron pieces from <i>Dessobriga</i> (Palencia)	
ÁGUEDA SÁENZ-MARTÍNEZ, FRANCISCO DEL PESO-ROSADO, ESPERANZA MARTÍN-HERNÁNDEZ Y DAVID EXPÓSITO	
Decoración incisa bajo siglos de corrosión metálica	257
Incised decoration under centuries of metallic corrosion	
LUCÍA GUTIÉRREZ GONZÁLEZ	
El conjunto de estatuillas de bronce de la Tumba n.º 14, Oxirrínco (El-Bahnasa), Egipto	269
The set of bronze statuettes from Tomb no. 14, Oxirrínco (El-Bahnasa), Egypt	
BERNAT BURGAYA MARTÍNEZ	
Estado de conservación y metodología de intervención de una selección de bronce del yacimiento Casas del Turuñuelo	279
State of conservation and intervention methodology of a selection of bronzes from the archaeological site Casas del Turuñuelo	
MARÍA CRUZ MEDINA SÁNCHEZ, MARÍA MUÑOZ MORA Y JOAQUÍN BARRIO MARTÍN	

Un ataque microbiológico en objetos de hierro de época ibérica: proyecto interdisciplinar de investigación, intervención y conservación preventiva	289
--	-----

A microbiological attack on iron objects from the Iberian
period: interdisciplinary research, intervention and
preventive conservation project

RAMÓN CANAL ROCA, TRINIDAD PASÍES OVIEDO, JAIME VIVES-FERRÁNDIZ SÁNCHEZ,
M^a TERESA DOMÉNECH-CARBÓ, ROSA M^a MONTES ESTELLÉS,
JOSÉ ANTONIO MADRID GARCÍA Y ANTONIO DOMÉNECH-CARBÓ

Propuesta para la conservación de una amplia colección de objetos arqueológicos de hierro	299
--	-----

Proposal for the conservation of a wide collection of iron
archaeological objects

LAURA GARCÍA BOULLOSA

Sistema expositivo en la colección de metales del Museo Foro Romano. Molinete (Cartagena)	309
--	-----

Exhibition system in the metal collection of the Roman
Forum Museum. Molinete (Cartagena)

IZASKUN MARTÍNEZ PERIS

Trabajos de conservación-restauración de cuatro tuberías de plomo de la ciudad romana de <i>Baetulo</i> (Badalona). Un caso de estudio interdisciplinar	319
---	-----

Conservation-restoration work on four lead pipes in the
Roman city of Baetulo (Badalona). An interdisciplinary case
study

ANNA BERTRAL ARIAS, ESTHER GURRI COSTA Y SANTIAGO RIERA MORA

Métodos de limpieza sobre metales arqueológicos procedentes de medios marinos: clavos de hierro originarios del Pecio de Urbieta (Gernika, Vizcaya)	329
---	-----

Cleaning methods on archaeological metals from marine
environments: iron nails from the Urbieta Wreck (Gernika,
Vizcaya)

SARA MASTRAL-MOLINOS, AINARA ZORNOZA-ÍNDART, LAURA GARCÍA Y GIORGIO STUDER

SESIÓN IV. PATRIMONIO METÁLICO HISTÓRICO, ARTÍSTICO Y RELIGIOSO

Acciones de Conservación de Patrimonio Militar de Artillería: de la intervención mínima a la intervención funcional	341
--	-----

Actions for the Conservation of Artillery Military Heritage:
from minimal intervention to functional intervention

ANAHÍ MEYER RIERA Y JAIME FERREIRA REGALADO

Construcción de decisiones para la producción y restauración de «El caballito»	351
---	-----

Decision making for the production and restoration of
“El caballito”

JANNEN CONTRERAS VARGAS

Estudio de la colección de objetos metálicos de la Villa Rica de la Veracruz (Veracruz)	.....	361
Study of the collection of metallic objects of the Villa Rica de la Veracruz (Veracruz)		

ÁNGEL ERNESTO GARCÍA ABAJO, JANNEN CONTRERAS VARGAS,
DANIELA LIRA PACHECO Y GABRIELA PEÑUELAS GUERRERO

Patologías y restauración del grupo escultórico de la fuente de las Tres Gracias de Málaga	.....	371
Pathologies and restoration of a sculpture group in the fountain Tres Gracias at Malaga		

DANIEL MORALES-MARTÍN, FERNANDO AGUA, MANUEL GARCÍA-HERAS,
RAFAEL RUIZ DE LA LINDE Y M^a ÁNGELES VILLEGAS

Intervención sobre una empuñadura de una espada ropera procedente del sitio histórico de Panamá Viejo (Panamá): estado de conservación, análisis y restauración	.....	379
Intervention in the hilt of a rapier sword at the historic site of Panamá Viejo (Panama): state of conservation, analysis and restoration		

BÁRBARA MARTÍN GÓMEZ, CRISTINA CABELLO BRIONES, MANUEL BLANCO DOMÍNGUEZ,
M^a CRUZ MEDINA SÁNCHEZ, INMACULADA DONATE CARRETERO, JOAQUÍN BARRIO MARTÍN
Y MARCELINA GODOY VALENCIA

Os pratos em estanho do Rio Arade, estratégias de conservação	.....	387
Tin dishes from Rio Arade, conservation strategies		

ANDREIA ROMÃO

SESIÓN V. PATRIMONIO METÁLICO CIENTÍFICO, TECNOLÓGICO, INDUSTRIAL Y URBANO

Documentación, conservación y restauración de una fuente escultórica de fundición: La diosa Fortuna de Daimiel (Ciudad Real)	.....	395
Documentation, conservation and restoration of a foundry sculptural fountain: The goddess Fortuna de Daimiel (Ciudad Real)		

M^a ISABEL ANGULO BUJANDA, MANUEL M. BLANCO DOMÍNGUEZ Y MIGUEL TORRES MAS

Diagnóstico del estado de conservación de un conjunto de cepos de plomo de procedencia subacuática: uso de geles rígidos de agar-agar para su intervención	.....	407
Diagnosis of the conservation status of a set of lead traps from underwater origin: use of rigid agar-agar gels for their intervention		

ELISA FERNÁNDEZ TUDELA, LUIS CARLOS ZAMBRANO VALDIVIA Y MANUEL BETHENCOURT

Estudio, caracterización y diagnóstico de una fuente de peltre de procedencia subacuática depositada en el Museo de Cádiz	.....	417
Study, characterization and diagnosis of a pewter dish of underwater provenance deposited in the Cadiz Museum		

MANUEL JESÚS GRUESO JIMÉNEZ Y LUIS CARLOS ZAMBRANO VALDIVIA

La conservación de las culebrinas de bronce recuperadas de la fragata <i>Nuestra Señora de las Mercedes</i>	.....	427
The conservation of the bronze culverins recovered from the <i>Nuestra Señora de las Mercedes</i> frigate		
JUAN LUIS SIERRA MÉNDEZ		
La Estación Central de Santiago de Chile. Arquitectura metálica y vanguardia decimonónica	.....	437
The Central Station of Santiago de Chile. Metallic architecture and nineteenth-century avant-garde		
MARÍA PAZ VALENZUELA BLOSSIN		
Las jardineras tipo Monier en las Galerías Punta Begoña. Degradaciones y proceso de conservación	.....	445
The Monier-type planters in the Punta Begoña Galleries. Degradation and conservation process		
JUAN BERMEJO-SOLER, ÍÑIGO GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, ESTÍBALIZ LAMA OCHOA, NAGORE PRIETO-TABOADA Y M ^a DOLORES RODRÍGUEZ LASO		
Los inicios de la industria del hierro en Madrid en el siglo XIX: cerramientos de edificios reseñables	.....	453
The beginnings of the iron industry in Madrid in the 19 th century: remarkable building enclosures		
SUSANA LÓPEZ GINESTAL Y SOLEDAD DÍAZ MARTÍNEZ		
Restauración del Patrimonio Metálico Urbano: la escultura de la Flama Rotaria de la ciudad de Valencia	.....	461
Restoration of the Urban Metallic Heritage: the sculpture of the Rotary Flame of the city of Valencia		
PABLO GRIÑENA		
Westfalia Manteigueira com Centrifugadora: desafios e soluções de conservação	.....	471
Westfalia Butter with Centrifuge: challenges and conservation solutions		
ANDREIA ROMÃO		

Estudio, caracterización y diagnóstico de una fuente de peltre de procedencia subacuática depositada en el Museo de Cádiz

Study, characterization and diagnosis of a pewter dish of underwater provenance deposited in the Cadiz Museum

MANUEL JESÚS GRUESO JIMÉNEZ
Investigador independiente
manugrueso89@gmail.com

LUIS CARLOS ZAMBRANO VALDIVIA
Museo de Cádiz
luisc.zambrano@juntadeandalucia.es
<https://orcid.org/0000-0002-7456-8147>

Resumen

El peltre, una aleación formada principalmente por estaño y otros metales en menor proporción, ha sido ampliamente utilizado en relación con la vida a bordo de los barcos desde el siglo XVI, siendo por tanto un material con elevada presencia en el ámbito de los yacimientos arqueológicos subacuáticos. Un buen ejemplo de ello es la fuente de peltre depositada en el Museo de Cádiz en 1982, sobre la que se han aplicado distintas técnicas de análisis para el estudio de la composición elemental y los productos de corrosión. Concretamente se han empleado la microscopía óptica (MO), la microscopía electrónica de barrido con microanálisis de energías dispersivas de rayos X (SEM-EDS) y la difracción de rayos X (DRX). Los resultados de estos estudios científicos, en combinación con otros de carácter documental y bibliográfico, han permitido la caracterización compositiva del objeto, pudiendo determinar que se trata de un tipo de peltre denominado *peltre fino*. En el estudio de los productos de corrosión, se han identificado dos fases estables de óxidos de estaño, romarchita y casiterita, como productos de corrosión del peltre. Dichos resultados han permitido elaborar un completo estudio diagnóstico de este objeto y avanzar en el conocimiento de los procesos de alteración del peltre en contextos subacuáticos.

Palabras clave: peltre, corrosión, Arqueometría, Arqueología subacuática, Cádiz

Abstract

Pewter, an alloy primarily composed by tin, and other metals in lower percentage, has been used on-board life in ships since the XVI century, making this material very present in subaquatic archaeological sites. A good example is a pewter dish owned by the Cádiz Museum, which was deposited in 1982, and object of the present study. Optical Microscopy (MO), Scanning Electron Microscopy (SEM) with Energy Dispersive X-ray analysis (EDX) and X-ray Diffraction analysis (XRD) were used to determine its elemental composition and corrosion products. The scientific data obtained, in combination with bibliographical, and documental research, allowed to characterized a specific type of pewter which composes in the dish, and so-called *fine pewter*. Different tin oxides, like romarchite and cassiterite, were identified as pewter corrosion products. These data enabled to elaborate a complete diagnostic study of this object and to advance in the knowledge of the alteration processes of pewter found in subaquatic sites.

Key words: pewter, corrosion, Archaeometry, Underwater archaeology, Cadiz

1. Introducción

En el estudio de los yacimientos arqueológicos subacuáticos, y en especial, en los pecios, suele ser común la presencia de materiales estrechamente relacionados con la vida a bordo de los barcos. Uno de estos materiales es el peltre, el cual ha sido empleado en la fabricación de distintos objetos como «cuberte-rías, servicios de mesa, vajillas y otros utensilios de la vida cotidiana» (López de la Orden, 2005: 122). La existencia de vajillas de peltre en el interior de los barcos, se debe a que eran empleadas por los oficiales y las clases altas que viajaban a bordo, estando reservado a estos su uso casi en exclusiva, frente al resto de la tripulación, los cuales empleaban vasos y platos de madera (Casabán *et alii*, 2013).

Pese a que el peltre es un material con elevada presencia en el ámbito de los yacimientos arqueológicos subacuáticos, los estudios y la bibliografía que versan sobre esta materia son escasos, en comparación con otros materiales. Los principales estudios de referencia son los realizados sobre los objetos de peltre provenientes del pecio de *La Belle* de 1686 (Carlin y Keith, 1997) destacando también los estudios en los objetos de peltre del pecio de *Queen Anne's Revenge* de 1717 (Dunkle *et alii*, 2003).

Aunque la mayoría de los hallazgos de estos objetos se produzcan en contextos arqueológicos, los objetos de peltre también pueden aparecer de forma aislada y descontextualizada, ya que podían ser arrojados al mar de forma accidental o intencionada, cuando habían sufrido algún daño y perdido su utilidad. Un buen ejemplo de ello es la fuente de peltre descubierta en el dragado del canal de acceso al puerto de Cádiz en el año 1982, depositada desde entonces en el Museo de Cádiz, y que constituye el objeto de estudio de este trabajo.

2. Estado de la cuestión

2.1. Composición del peltre

El término peltre engloba de forma genérica todas aquellas aleaciones que se caracterizan por contener «grandes cantidades de estaño, y cantidades variables de otros metales como plomo, cobre, antimonio, cinc, bismuto y otros metales endurecedores» (Dunkle *et alii*, 2003). La composición de esta aleación presenta muchas variaciones a lo largo de la historia, destacando el peltre romano, con un porcentaje de un 25-50 % de plomo, el peltre medieval con menos de un 25 % de plomo y el peltre de la Edad Moderna, formado principalmente por estaño y otros metales en menor proporción (Cronyn, 1990). Se puede apreciar que, con el paso de los siglos, se fue produciendo una disminución de la proporción de plomo, debido a su carácter tóxico, empezándose a aplicar regulaciones sobre su fabricación por parte de gremios y gobiernos (Carlin y Keith, 1997).

Una de las primeras regulaciones en la fabricación del peltre tuvo lugar en Inglaterra en el siglo XV, originando la estandarización de tres tipos de peltre: *Fine pewter o fine metal* (Peltre fino), formado por una aleación de estaño con aproximadamente un 2 % de cobre; *Triffle*, formado principalmente por estaño y entre un 3-6 % de plomo, además de otros metales como antimonio; y *Lay*, formado por estaño y entre un 15-25 % de plomo (Weinstein, 2012). Debido a estas regulaciones, y como garantía de calidad de la pieza, los fabricantes comenzaron a identificar sus productos mediante una serie de marcas y sellos distintivos (Carlin y Keith, 1997). La abundante información histórica en relación a estos sellos y marcas, permite en ocasiones, la obtención de datos relativos a la cronología y procedencia de determinados objetos de peltre.

2.2. Corrosión del peltre

El principal proceso de alteración del peltre en contextos subacuáticos es la corrosión electroquímica, estando condicionado por factores exógenos relativos a las condiciones físico-químicas del medio

(por ejemplo: el contenido de oxígeno determinante para conformar medios aeróbicos o anaeróbicos), junto con la influencia que ejercen los elementos presentes en la aleación, dando lugar a un fenómeno de corrosión muy variable.

En el caso del estaño, los principales compuestos de alteración en ambientes aeróbicos son el óxido de estaño y el dióxido de estaño (Angelini Grassini y Tusa, 2013), mientras que en ambientes anaeróbicos destacan los sulfuros de estaño (Carlin y Keith, 1997). Las fases minerales asociadas son principalmente romarchita, hidrorromarchita, casiterita, abhurita y herzenbergita. Los distintos estudios realizados sobre objetos de peltre de procedencia subacuática indican que la casiterita es la fase mas estable en la corrosión del estaño, habiendo sido identificada únicamente en aquellos artefactos que presentaban un avanzado estado de corrosión. El tiempo de formación de la misma es algo que no esta muy claro, pero según ciertos estudios, podría variar entre unos 270 y 450 años (Dunkle *et alii*, 2003).

En cuanto al plomo, los principales productos de alteración formados en estos ambientes son los carbonatos, como el carbonato básico de plomo y los óxidos, como el óxido de plomo y el dióxido de plomo. Estos compuestos forman normalmente una capa protectora que evita una mayor oxidación. Así mismo, también se pueden formar otros compuestos como el cloruro de plomo y el sulfuro de plomo en condiciones anaeróbicas, y el sulfato de plomo en condiciones aeróbicas. De forma general, los productos de corrosión del plomo son estables y no afectan negativamente al objeto (Angelini *et alii*, 2013). Las fases minerales presentes en los productos de corrosión son principalmente galena (Dunkle *et alii*, 2003), anglesita, hidrocerusita y cerusita (MacLeod y Wozniak, 1997).

Los objetos de peltre que presentan un alto porcentaje en plomo, son mas resistentes a la corrosión en ambientes marinos, encontrando ejemplos de ello en un plato con un contenido de un 50 % de plomo que se ha conservado en un excelente estado después de mas de 300 años de inmersión aeróbica (North y Macleod, 1987). Sin embargo, aquellos objetos de peltre que se encuentran libres de plomo, en ambiente aeróbico se pueden corroer con gran rapidez, mientras que, en un ambiente anaeróbico, pueden resistir a la corrosión ya que se forman recubrimientos estables de sulfuro de estaño en la superficie del objeto (Carlin y Keith, 1997).

3. Materiales y métodos

El principal objetivo de este trabajo ha consistido en la caracterización material de la fuente de peltre y la identificación de los productos de corrosión, permitiendo la elaboración una hipótesis sobre el contexto medioambiental en el que se formaron.

El análisis visual de la pieza se llevó a cabo en el Taller de Restauración de Bienes Arqueológicos del Museo de Cádiz, incluyendo la recopilación de datos técnicos (dimensiones, peso, tipología, etc.) junto con la documentación fotográfica y el estudio del estado de conservación.

De forma paralela se realizó un estudio documental en el archivo interno del Museo de Cádiz, para la obtención de datos relativos a inventario, fecha de ingreso y procedencia entre otros, además de un estudio bibliográfico que aborde un estado de la cuestión sobre el peltre y la corrosión en el medio subacuático.

Para el desarrollo del trabajo fue necesario un proceso de toma de muestras, seleccionadas en aquellas zonas del objeto metálico que, por su significancia, pudieran aportar información relevante para los fines de este estudio. La extracción de muestras se llevó a cabo mediante métodos mecánicos, teniendo en cuenta que no afectara a rasgos estéticos. Las muestras corresponden a dos secciones transversales del objeto (*Muestras 1 y 2*), un fragmento mineralizado (*Muestra 3*) y una concreción superficial (*Muestra 4*). En el caso de las muestras correspondientes a las secciones transversales, se realizó un



Figura 1. Vista superior de la fuente de peltre

Figure 1. Top view of pewter dish

proceso de embutido mediante un molde Samplkup™ de 2,5 cm de diámetro en una resina polimérica y el posterior pulido mediante el empleo de una pulidora automática BUEHLER AutoMet™ 250 hasta la obtención de una superficie especular.

Con el objetivo de llevar a cabo la caracterización de la fuente de peltre y sus productos de corrosión, se han empleado las siguientes técnicas de análisis: microscopía óptica (MO), microscopía electrónica de barrido acoplada a un analizador por energía dispersiva de rayos X (SEM-EDS) y difracción de rayos X (DRX).

Las distintas muestras fueron estudiadas mediante un microscopio óptico LEICA DM4000M acoplado a una cámara LEICA MC190 HD, y mediante un microscopio electrónico JEOL JSM-5600 LV, que incorpora un sistema de microanálisis por energía dispersiva de rayos X, modelo Oxford INCA Energy 200, ambos equipos pertenecientes al Departamento de Análisis del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH). Las citadas muestras también se estudiaron mediante un microscopio



Figura 2. Vista lateral de la fuente de peltre

Figure 2. Side view of pewter dish

electrónico de barrido de emisión de campo (FE/SEM) Zeiss GeminiSEM 300, perteneciente al Servicio de microscopia electrónica de barrido de alta resolución de la Universidad Pablo de Olavide, dotado de un sistema combinado de microanálisis y textura mediante dispersión de energía de rayos X (EDS), marca Oxford X-MAX 50.

La caracterización de los productos de corrosión se ha llevado a cabo mediante DRX. La composición mineralógica se ha determinado mediante el método de polvo cristalino, utilizando para ello un difractómetro de polvo Bruker D8 ADVANCE perteneciente al Centro de Investigación, Tecnología, e Innovación de la Universidad de Sevilla (CITIUS). Para la aplicación de esta técnica fue necesaria la molienda de las muestras mediante un mortero de ágata, con su posterior tamizado hasta la obtención de un tamaño de partícula de $< 63 \mu\text{m}$.

4. Resultados y discusión

4.1. Estudio técnico

El objeto de peltre (figura 1) corresponde a la tipología de fuente de borde liso y estrecho, que presenta un diámetro de 32 cm. Los primeros testimonios de este tipo de fuente datan de finales del siglo XVII, siendo ampliamente utilizada durante el siglo XVIII (Weinstein, 2011). Así mismo, la fuente presenta un peso de 536 gr y en su superficie no se aprecian marcas de fabricante o de propiedad.

4.2. Estado de conservación

Una de las principales alteraciones presentes en la fuente de peltre es la deformación del material (figura 2), posiblemente ocasionada por las distintas presiones a las que ha estado sometida o por el impacto en el momento del hundimiento. Junto con esta deformación, también destaca la pérdida de fragmentos, además de la presencia de una corrosión de tipo uniforme, de color gris, la existencia de zonas mineralizadas (coincidentes con las zonas que presentan una mayor deformación, debido a las tensiones y a la fatiga a las que ha estado sometido), y la presencia de grietas y arañazos.

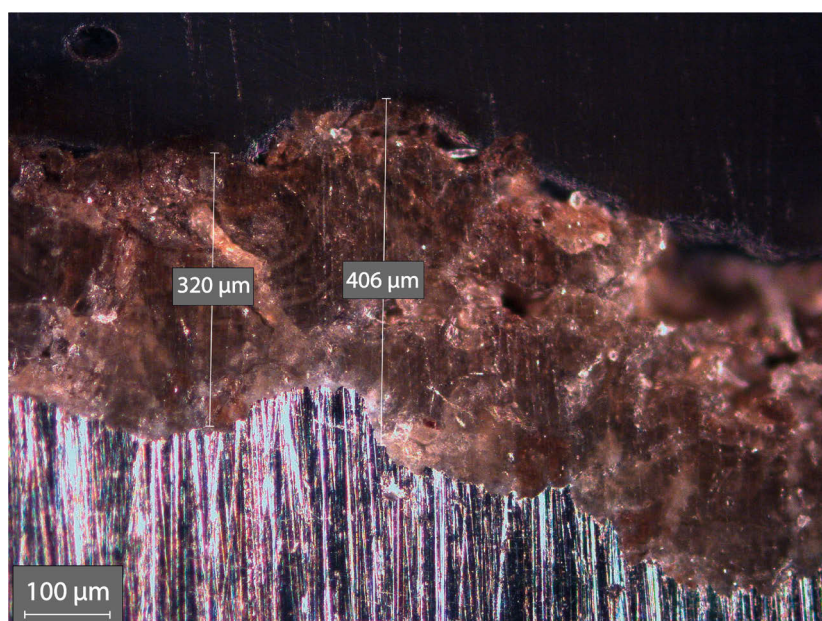


Figura 3. Sección transversal de la fuente de peltre observada mediante microscopía óptica

Figure 3. Cross section of a pewter dish observed by optical microscopy

4.3. Técnicas de análisis instrumental

Muestras 1 y 2

Los resultados de microscopía óptica en las secciones transversales, muestran el núcleo metálico sano y los productos de corrosión, presentando estos un espesor de entre 406 y 320 μm (figura 3). Por su parte, en el núcleo metálico se observan espesores de hasta 1 mm.

En la observación mediante SEM de las muestras correspondientes a las secciones transversales del objeto metálico, se aprecia el contraste entre el núcleo metálico sano y los productos de corrosión que lo rodean. La capa de corrosión observada no es compacta, pudiendo apreciarse de una forma clara las distintas fisuras creadas por el proceso de corrosión intergranular, facilitando la entrada de agua y oxígeno hacia el núcleo metálico (figuras 4 y 5).

El análisis composicional realizado mediante EDS sobre el núcleo metálico, detecta la presencia de estaño y cobre, con una proporción de 98,63 % y 1,27 % respectivamente, lo cual se correspondería con la aleación de peltre fino. En cuanto a la composición de los productos de corrosión, los elementos detectados han sido estaño, en un 97,92 %, cobre en un 1,56 % y silicio en un 0,51 %, evidenciando que la composición principal de los productos de corrosión estaría posiblemente formada por óxidos e hidróxidos de estaño y cobre, con la presencia de silicio proveniente del medio marino o de impurezas del metal.

Muestra 3

En la observación mediante SEM se muestra la morfología de los productos de corrosión del fragmento mineralizado (figura 6), que junto con el análisis composicional EDS, indican que están formados por óxidos de estaño.

Los análisis de DRX realizados a las muestras pertenecientes al fragmento mineralizado de la fuente han permitido identificar dos fases cristalinas asociadas al estaño, romarchita (SnO) y casiterita (SnO_2). La romarchita aparece en proporciones relativamente bajas, siendo la casiterita la fase cristalina predominante en las muestras.

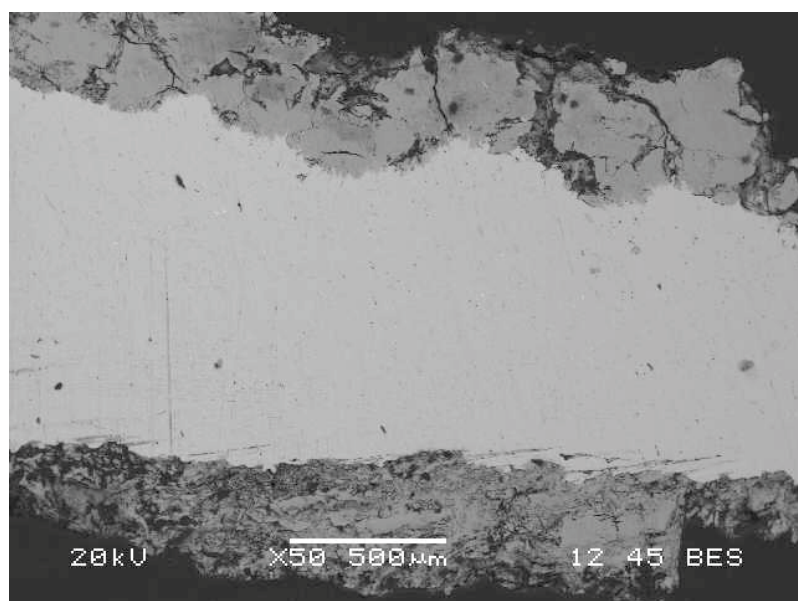


Figura 4. Imagen BSE de la sección transversal de la fuente de peltre

Figure 4. BSE image of a cross section of the pewter dish

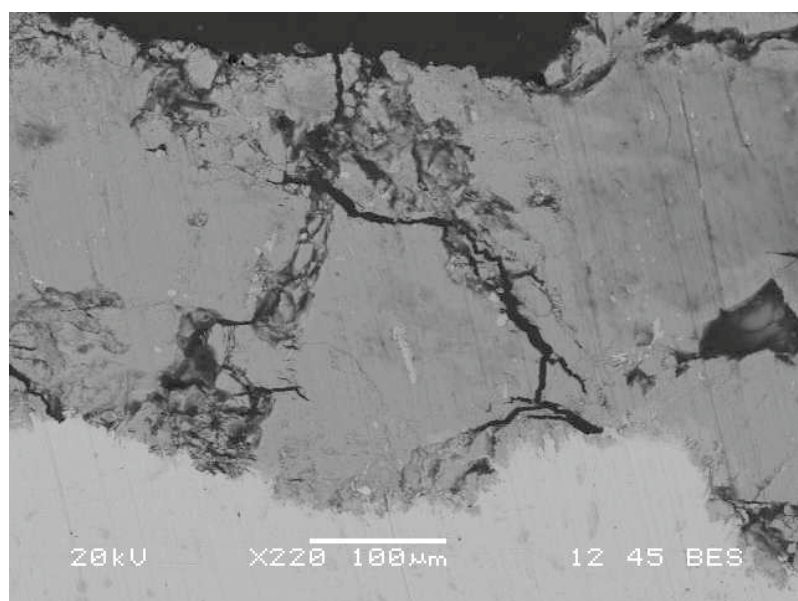


Figura 5. Imagen BSE de la sección transversal de la fuente de peltre

Figure 5. BSE image of a cross section of the pewter dish

Muestra 4

Los distintos análisis de la composición elemental mediante EDS, aplicados a la muestra correspondiente a la concreción superficial, detectan la presencia de estaño en un 72,73 %, magnesio en un 17,97 %, hierro en un 5,48 % y de silicio en un 3,82 %. La elevada presencia de estaño indica que la concreción puede formar parte de los productos de corrosión. Por otra parte, la presencia de magnesio, hierro y silicio está en concordancia con el contexto submarino de procedencia del objeto, ya que estos elementos «están típicamente asociados con las partículas de polvo/suelo capturadas en la capa de corrosión» (Ryck *et alii*, 2004: 193) y que son el resultado de las condiciones a las que el objeto estuvo sometido en el medio subacuático.

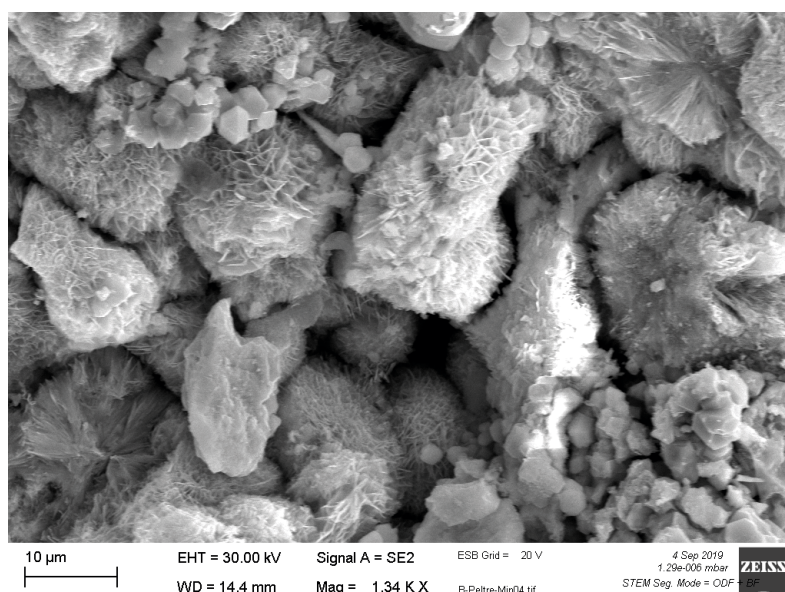


Figura 6. Imagen ESB de los productos de corrosión presentes en el fragmento mineralizado de la fuente de peltre

Figure 6. ESB image of corrosion phases present in the mineralized fragment of pewter dish

5. Conclusiones

Los distintos estudios llevados a cabo sobre la fuente de peltre han proporcionado una información relevante permitiendo una precisa caracterización arqueométrica. De acuerdo con los resultados obtenidos, se ha podido determinar que la fuente de peltre está constituida por una aleación denominada *peltre fino*, formada principalmente por estaño con una proporción de cobre muy baja, que corresponde al peltre de mayor calidad.

Por otra parte, estos resultados también han permitido sugerir que el objeto se ha conservado en un ambiente aeróbico durante la mayor parte de su periodo de abandono en el medio subacuático, ya que no se han detectado ninguno de los compuestos de estaño asociados a los ambientes anaeróbicos, como es el caso de los sulfuros de estaño.

La presencia de casiterita como fase cristalina predominante en los productos de corrosión, podría indicar una elevada antigüedad del objeto que, junto con el estudio de la tipología de fuente, permitiría contextualizar cronológicamente la pieza entre los siglos XVII y XVIII.

Finalmente, los distintos estudios han permitido obtener un mayor conocimiento de cara a la conservación del objeto. Aunque los productos de corrosión presentes en la fuente de peltre son estables, se podría plantear la eliminación de los mismos por razones estéticas y para revelar posibles detalles de la superficie ocultos debajo de las capas de corrosión.

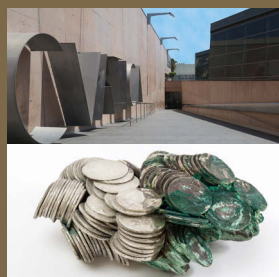
Agradecimientos

A la profesora Auxiliadora Gómez Morón, del Departamento de Análisis del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH). Al profesor José María Martín Ramírez del Departamento de Sistemas Físicos, Químicos y Naturales de la Universidad Pablo de Olavide. A la catedrática María Isabel González Díez y la profesora Cinta Barba Brioso del Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química

Agrícola de la Universidad de Sevilla. A los distintos miembros del Museo de Cádiz por su ayuda con este trabajo. Este artículo se encuadra en los estudios realizados para el trabajo de fin de máster del Máster en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico de la Universidad Pablo de Olavide.

Bibliografía

- Angelini, E., Grassini, S. y Tusa, S. (2013): "Underwater corrosion of metallic heritage artefacts". *Corrosion and Conservation of Cultural Heritage Metallic Artefacts*. European Federation of Corrosion (EFC) Series, 65. Oxford: 236-259.
- Carlin, W. y Keith, D.H. (1997): "On the treatment of pewter plates from the wreck of La Belle, 1686". *The International Journal of Nautical Archaeology*, 26 (1): 65-74.
- Casabán, J.L., San Claudio, M., González, R. y Castro, F. (2013): "El pecio de Punta Restelos. Un buque de la Armada de 1596". *I Congreso de Arqueología Náutica y Subacuática Española*. Cádiz: 233-243.
- Cronyn, J.M. (1990): *Elements of Archaeological Conservation* (1st ed.). Routledge. London.
- Dunkle, S.E., Craig, J.R., Rimstidt, J.D. y Lusardi, W. (2003): "Romarchite, hydroromarchite and abhurite formed during the corrosion of pewter artifacts from the *Queen Anne's Revenge* (1718)". *The Canadian Mineralogist*, 41: 659-669.
- Macleod, I.D. y Wozniak, R. (1997): "Corrosion and conservation of tin and pewter from sea water". *Metal 95: Proceedings of the international conference on metals conservation, Semur-en-Auxois, 25-28 September 1995*. London: 118-123.
- North, N.A. y Macleod I.D. (1987): "Corrosion of Metals". En C. Pearson (ed.): *Conservation of Marine Archaeological Objects*. London: 68-98.
- López de la Orden, M.D. (2005): "Objetos de vida cotidiana". En A. Álvarez Rojas (coord.): *Cádiz y Trafalgar: la ciudad ilustrada de 1805*. Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía. Sevilla: 122-123.
- Weinstein, R. (2011): *The Archaeology of Pewter Vessels in England 1200-1700: A Study of Form and Usage*. Tesis doctoral. Durham University.
- Ryck, I.D., Biezen, E.V., Leyssens, K., Adriaens, A., Storme, P. y Adams, F. (2004): "Study of tin corrosion: The influence of alloying elements". *Journal of Cultural Heritage*, 5: 189-195.



MetalEspaña 2020/2021

III Congreso de Conservación y Restauración del Patrimonio Metálico

Joaquín Barrio Martín

Milagros Buendía Ortuño (eds.)

El volumen 6 de la Serie Anejos a CuPAUAM recoge la publicación de las Actas del III Congreso de Conservación y Restauración del Patrimonio Metálico, *MetalEspaña 2020/2021*. Esta monografía es el resultado de las actividades científicas llevadas a cabo en los tres días de sesiones. En sus páginas se integran, de una manera muy equilibrada entre investigación e intervención, trabajos con unos contenidos multidisciplinares en su carácter analítico, deontológico y técnico. Con ello se demuestra que la combinación de Ciencia, Tecnología Aplicada y Conservación-Restauración es la mejor manera de abordar la recuperación y cuidado de los objetos que componen el Patrimonio Metálico.

Las Actas que se editan en esta monografía han sido posibles gracias a la implicación y al trabajo conjunto de las tres instituciones organizadoras de *MetalEspaña 2020/2021*: Universidad Autónoma de Madrid (SECYR), la Subdirección General de los Museos Estatales (Museo Nacional de Arqueología Subacuática ARQVA) y la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre (Museo Casa de la Moneda).