

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 Jaen 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		

La conservación de las culebrinas de bronce recuperadas de la fragata *Nuestra Señora de las Mercedes*

The conservation of the bronze culverins recovered from the *Nuestra Señora de las Mercedes* frigate

JUAN LUIS SIERRA MÉNDEZ

Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

jluis.sierra@cultura.gob.es

<https://orcid.org/0000-0002-7344-2462>

Resumen

Entre 2015 y 2017 el Museo Nacional de Arqueología Subacuática (ARQUA) realizó tres expediciones científicas al naufragio del *Nuestra Señora de las Mercedes*, a una profundidad de más de 1100 m, ubicado a más de 30 millas náuticas al sur de la costa de Portugal.

Varios fueron los objetivos de estas tres campañas, incluidos la documentación del estado de conservación, la recopilación de un mapa arqueológico de los objetos dispersos, así como la excavación y extracción de algunos de los objetos más importantes en riesgo de degradación, entre ellos, dos excepcionales culebrinas renacentistas.

Los dos cañones de bronce presentaban condiciones químicamente inestables, no solo por permanecer semienterrados en el fondo marino durante más de 200 años, sino también por sus características constructivas, por lo que fue necesario ejercer varias acciones para estabilizarlos.

Palabras clave: arqueología subacuática, conservación de cañones de bronce, *Nuestra Señora de las Mercedes*, Museo Nacional de Arqueología Subacuática, culebrinas

Abstract

Between 2015 and 2017 the National Museum of Underwater Archaeology (ARQUA) carried out three scientific expeditions to the shipwreck of the *Nuestra Señora de las Mercedes*, at a depth of over 1100 m, located more than 30 nautical miles at south of Portugal coast.

Several were the aims of these three campaigns, included the documentation of its condition, the compilation of an archaeological map of the dispersed objects as well as the excavation and extraction of some of the important artifacts under degradation risks, between them, two exceptional renaissance culverins. The two submerged bronze cannon were chemically unstable conditions, not only for having remained semi-buried on the seabed for more than 200 years, but also for its manufacture features, therefore it was necessary to lead several actions to stabilize them.

Key words: underwater archaeology, bronze cannon conservation, *Nuestra Señora de las Mercedes*, National Museum of Underwater Archaeology, culverins

1. Introducción

Son dos culebrinas de bronce excepcionales, presentan una rica ornamentación y son recuperadas a más de un kilómetro de profundidad, lo que hace de ellas piezas de gran importancia y singularidad desde el punto de vista científico, y bajo criterios museográficos y de divulgación.

Desgraciadamente, el bronce es un metal valioso, la mayoría de estas piezas se refundían perdiéndose la importante información que en ellas se grababa, verdaderas obras de arte construidas para la guerra. Ambas piezas constituyen un excepcional documento histórico que permite interpretar mejor la historia de la artillería y los grandes fundidores españoles.

Ambos cañones se cargaron en la fragata para ser refundidos en España (Oliver y Ramírez). La tragedia del hundimiento supuso sin embargo su permanencia en el fondo del mar, y doscientos años más tarde, la recuperación para escribir su historia.

2. Descripción de las piezas

Elaboradas en bronce mediante fundición se encuentran en buen estado de conservación general. La implantación de la fundición supuso un notable avance en el periodo renacentista debido a que, al eliminar tensiones que provocaba la forja, prolongaba la vida útil de las armas.

Santa Bárbara: cañón de doble refuerzo, muy decorado. Fundido en Perú por Bernardino de Tejada en 1585, con longitud de 4,34 m y 2670 kg de peso. Contiene varias inscripciones, como el peso de 58 quintales (58 Q ZA), el nombre del cañón, el del artesano fundidor y el año de construcción, así como distintos campos decorativos: el escudo de Castilla y León y el del mandato de construcción por el conde del Villar, cenefas perimetrales de tritones apoyados sobre la jarra de la abundancia, franjas con decoración repetitiva de castillos y leones y motivos vegetales que adornan el brocal.

Como elementos funcionales presenta dos asas decoradas en forma de dragón para su alzado y manipulación, levemente retrasadas sobre los muñones. Asimismo un cascabel largo, sujetado por cuatro figuras en forma de «S» que representan dos cabezas y cuerpos enlazados por la cola, del mismo animal mitológico que las asas.

Santa Rufina: también de doble refuerzo y fundido igualmente en Perú por Bernardino de Tejada en 1601, con una longitud de 3,90 m y un peso de 2260 kg.

Menos ornamentado que el anterior, muestra también decoración en relieve. Se distingue el blasón familiar del marqués de Salinas Luis Velasco y Castilla, el escudo de Castilla y León, el nombre del cañón y su fundidor, el año de fabricación, y decoraciones vegetales formadas por hojas de acanto. Asimismo, presenta como elementos funcionales un cascabel simple en la culata, y sobre su centro de gravedad, dos asas decoradas con forma de dragón.

3. Estado de conservación

Con buen estado de conservación en general, presentan corrosión generalizada con manchas verdosas que cubren la mayor parte de las superficies y que se corresponden con carbonatos de cobre. Bajo esos carbonatos aparecen inclusiones de color verde intenso en áreas dispersas.

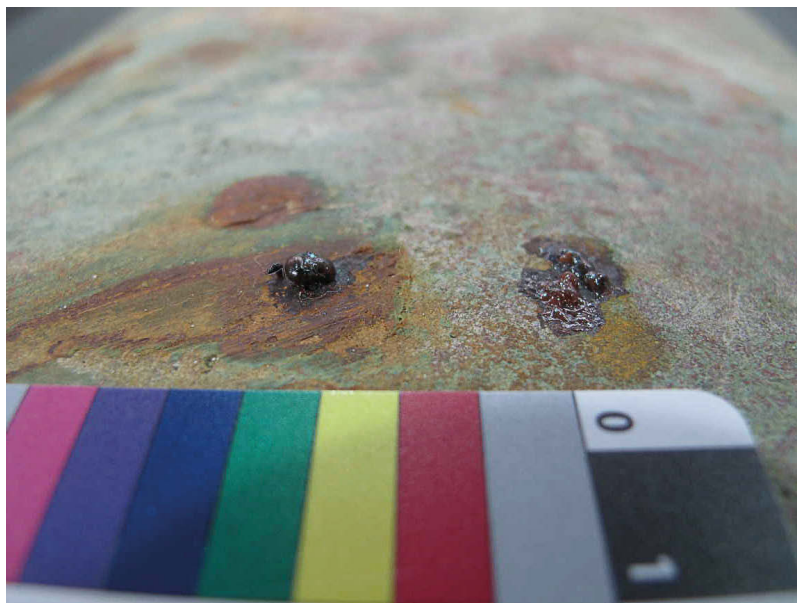


Figura 1. Lagrimeo ácido de cloruro férrico en Santa Bárbara

Figure 1. Acid tearing of ferric chloride

3.1. Alteraciones visibles

Ambas piezas presentan zonas concretas de color pardo rojizo, en forma de manchas extensas, especialmente en la zona de la culata y segundo refuerzo, en el brocal, y también puntualmente en pequeñas zonas en puntos muy dispersos. Sobre estas manchas, a los pocos días de la extracción se produce el característico lagrimeo de cloruro férrico, muy ácido ($\text{pH} = 2$), que revela la alta concentración de cloruros, y evidencia la urgente necesidad de aplicar tratamientos activos de estabilización.

Por acumulación de esqueletos calcáreos de organismos marinos, muestran concreciones de carbonato cálcico en el brocal, las asas, la parte superior que estuvo al descubierto y en zonas intermedias del cañón, depósitos biogénicos que, no siendo perniciosos para la conservación, dificultan la lectura de la decoración donde se acumulan.

Aparecen inclusiones muy tenaces blanquecinas y pardas afianzadas entre la decoración. Corresponden a sedimentos de lecho concrecionado donde el relieve es mayor.

Una de las alteraciones más preocupantes es la multitud de orificios de corrosión, de diverso diámetro y profundidad, muy abundantes en la zona alta del brocal y la caña, en menor grado en la zona intermedia. Para estudiar la integridad del metal se practicaron gammagrafías (con la ayuda del Centro de Referencia Nacional de Química de Cartagena del SEF de la CARM, y con soporte de Eurocontrol S.A. con especialistas en gammagrafía industrial y ensayos no destructivos) a Santa Bárbara utilizando una fuente de iridio (^{192}Ir), que desveló la enorme porosidad en dichas zonas, su deficiente coherencia interna interrumpida por la aparición de multitud de orificios, compromete la resistencia del metal.

3.2. La cruceta

La degradación en ambiente subacuático es motivada por agentes químicos, físicos y biológicos, no obstante, la técnica de fabricación del objeto también influye en su posterior estabilidad físico-química. Se construyeron con varios cuerpos de moldes de arcilla, el exterior, el de muñones, culata y ánima, piezas que una vez unidas y reforzadas con enrejados de hierro, y colocadas en posición vertical,



Figura 2. Gammagrafía de Santa Bárbara que denota su porosidad, se distingue la decoración del brocal como referencia

Figure 2. Gammagraphy of S. Bárbara that denotes its porosity, the decoration of the mouth is distinguished as a reference

permitían el vertido de la colada. El molde interior y el exterior se alineaban con la inserción de una pieza de hierro forjado llamada «cruceta», un anillo central de diámetro del calibre unida a brazos en disposición radial (Lechuga, 1611). Permitía alinear los moldes para mejorar la precisión del cañón, y evitar la asimetría que podría producir el estallido de la pieza durante el disparo. La cruceta de hierro quedaba embutida en el cuerpo de bronce, no se podía retirar de ninguna manera.

Resulta negativo para la conservación, dos metales en contacto de distinta naturaleza forman un par galvánico, la cruceta de hierro, menos noble que la aleación de cobre y estaño, resulta más reactiva y en proceso espontáneo actúa anódicamente, polarizando como cátodo al cuerpo de bronce.

La oxidación de esta pieza en ambas culebrinas ha supuesto el vaciado parcial de la masa de hierro con la consiguiente aparición de orificios donde inicialmente se encontraban las barras de sujeción del anillo central. Durante la oxidación, los iones de hierro migraron a las inmediaciones de esos orificios, precipitando y manchando con colores pardo-rojizos las superficies. Bajo las manchas de corrosión de hierro se ha producido una oxidación preferencial de la aleación superficial del bronce, por lo que bajo esas costras la superficie del cañón se vuelve aún más irregular.

Tres manchas muy localizadas de estos óxidos aparecen en la superficie de Santa Bárbara, alineadas y uniformemente espaciadas en una sección transversal del segundo refuerzo, se ubican en el mismo plano del anillo interno de hierro, medido desde el inicio del ánima con cámara de vídeo y cinta métrica.

El anillo se aprecia en el interior de los dos cañones, y se distingue por la fuerte corrosión deformante del hierro, se sitúa a 35 cm del inicio del ánima en Santa Bárbara, y a 18 cm en Santa Rufina.

Aún permanece el núcleo de hierro que conforma los brazos de la cruceta en Santa Bárbara, no así en Santa Rufina. Con imanes de neodimio se ha determinado con precisión la posición de los brazos

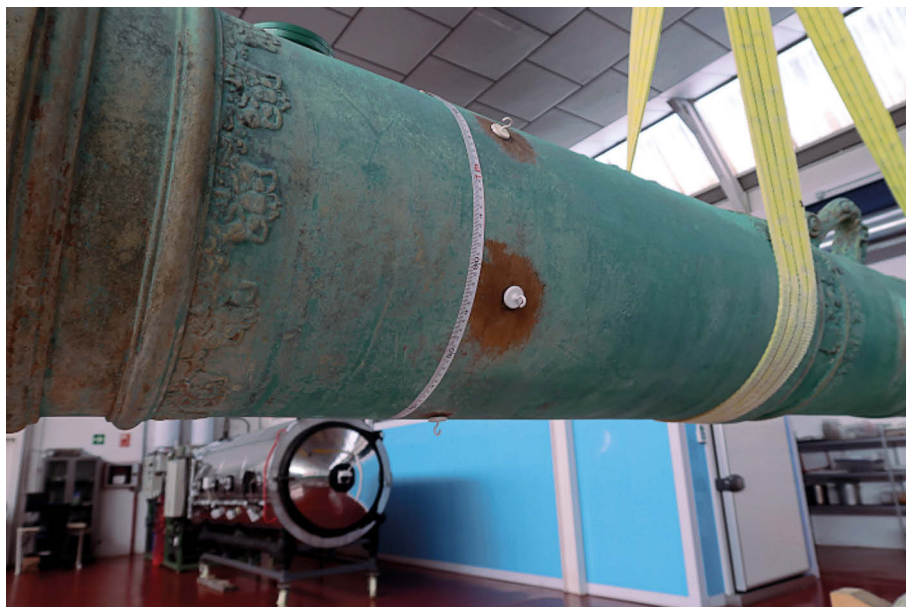


Figura 3. Imanes revelan la posición de los seis brazos de la cruceta

Figure 3. Magnets show the position of the six pins of the “cruceta”

que sostienen el anillo. Se trata de una cruceta de seis brazos dispuestos en los vértices de un hexágono, descentrado $8,4^\circ$ respecto al plano sagital y $5,6^\circ$ respecto al plano transversal.

3.3. Caracterización inicial, análisis cualitativo de las concreciones y manchas de corrosión

Tras la limpieza superficial de lodos se confeccionó un mapa de alteraciones de ambas piezas, en el que se distinguieron las fases minerales en función de la coloración y textura, así como las distintas irregularidades superficiales.

El Servicio de Diseño Industrial y Cálculo Científico (SAIT) de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) realizó la digitalización 3D mediante la captura de malla tridimensional por triangulación óptica y medición láser, con resolución 0,1 mm y precisión de 0,05 mm, con el escáner 3D HANDYSCAN REVscan con sistema de medición óptica de coordenadas MaxSHOT 3D. Los modelos 3D aportan una documentación inicial extraordinariamente precisa, para estudios de conservación, análisis ingenieriles, y en proyectos de musealización y difusión en Arqua.

La identificación de las distintas fracciones minerales de corrosión se realizó en el SAIT de la UPCT, mediante un difractómetro de rayos X de polvo Bruker D8 Advance, los resultados más significativos fueron los siguientes:

Las gruesas costras de corrosión rojiza muy compacta en la zona de las culatas y el exterior de los brazos de la cruceta están compuestas por oxi-hidróxidos de hierro y cuarzo. También se identifican en esas concreciones sulfuros de hierro y óxidos de estaño.

Directamente por encima del sustrato metálico se desarrolla una fase amarillenta de cuprita, nantoquita y clinoatacamita, y casiterita. Sobre ella, dos fases verdosas, una oscura compuesta principalmente por oxiclорuros de cobre (clinoatacamita) y una clara que incluye, además de cloruros y oxiclорuros, un alto contenido en silicatos de hierro y magnesio, evidencia el carácter aeróbico del medio (North and MacLeod).

Las fases verdosas denotan la elevada concentración de cloruros y oxiclорuros de cobre en las muestras, entre un 40 y 75 % de su composición, que originan inestabilidad. La estabilización se basará en la remoción exhaustiva de estos elementos.



Figura 4. Remoción de las costras en las asas, la figura de arriba previa a su eliminación y abajo la misma imagen una vez eliminadas, se definen mejor las superficies para una correcta lectura de la pieza

Figure 4. Removal of the crusts on the handles, above before their removal and down the same image once removed, the surfaces are better defined for a correct interpretation of the artifact

Otra particularidad observada en la fabricación de las culebrinas es la presencia de tres orificios de sección rectangular dispuestos en los vértices de un triángulo equilátero centrado en el eje de la cula-ta. Uno de los orificios permanecía taponado con una «verruga» de concreción férrica, apareció en su interior una masa pulverulenta negruzca de hierro oxidado (cohenita).

4. Intervención

Se eliminaron los residuos de sedimento arcilloso y materia orgánica por lavado con agua corriente y cepillado con escobillas plásticas.

Para limpiar el interior se colocaron con un ángulo invertido de 10°, se inyectó agua de red arras-trando el contenido hacia la boca, donde un cedazo recogió los objetos que allí permanecían. Además de astillas de madera, se recogieron numerosas semillas de leguminosas de tegumento oscuro, cien cantos rodados de diverso tamaño, 90 gramos de pequeños cristales de cobre metálico, y 38 monedas



Figura 5. Disposición de las culebrinas en el tanque de tratamiento

Figure 5. Arrangement of culverins inside the treatment tank

de plata en buen estado de conservación. Del cañón Santa Bárbara afloraron los restos una rata incompleta, identificándose piel, patas y rabo unidos a un fragmento de madera que se conservaron por plastinación.

Inicialmente, previo a la fase de desalación, se removieron las concreciones calcáreas con escalpelos, lápices de ultrasonidos y vibroincisores, que permiten trabajar con precisión respetando la pátina verdosa producida por la corrosión metálica.

La decloruración se realizó por inmersión en agua de red en un tanque alargado de acero inoxidable de 12 000 litros de capacidad, calefaccionado y con sistema de recirculación, asentados sobre peanas de poliamida con apoyo semicircular. Se inició a una temperatura constante de 35 °C (pH 7,5 y concentración de inicial de cloruros de 200 ppm). Se practicaron seis baños consecutivos de 6 000 litros durante 143 días, en los que la extracción de cloruros se redujo exponencialmente al mínimo al final de este período, de los 25 gramos de extracción el primer día, al final de esta fase tan solo se llegó a extraer 0,12 gramos/día.

La medición periódica de cloruros se realizó por titración potenciométrica con un equipo Salt-Matic 23 de Crison.



Figura 6. Culebrinas tras el tratamiento de conservación

Figure 6. Culverins after conservation treatment

Prosiguió por inmersión consecutiva en tres disoluciones de 5 000 litros de sesquicarbonato al 5 % (p/vol) en agua desionizada.

Esta fase se prolongó durante catorce meses, el pH se mantuvo entre 9,8 y 10,0. El cloruro de cobre no es estable a este pH, se descompone para formar óxido cuproso y liberar iones cloruro (MacLeod). Los protones producidos por la hidrólisis del CuCl se neutralizan con los carbonatos, tienen poca influencia sobre la alcalinidad de la disolución.

La concentración de cloruro aumentó en el primer baño, de 22 a 28 ppm, en el segundo de 21 a 24 ppm y en el tercero, desde 6 ppm iniciales hasta los 14 ppm finales.

La disolución se mantuvo homogénea permanentemente con dos agitadores eléctricos de 12 000 l/h, así mismo se bombeó la disolución al fondo del interior de los cañones con un caudal de 2 400 l/h. Las superficies permanecían en contacto con la disolución en régimen turbulento. Para aumentar la velocidad de difusión la temperatura de la disolución se mantuvo constante a 35 °C.

Para estabilizar el aro de hierro interior se dispusieron en un ángulo de inclinación de 15° tapando mechas y orificios de cruceta, y se vertió por el brocal una disolución de hidróxido de sodio al 2 % (p/vol) en agua desionizada hasta el rebose. Se mantuvieron en esta posición durante dos semanas, tras las cuales se vaciaron, cepillaron interiormente y enjuagaron con agua desionizada.

La tercera y última fase de este proceso consistió en el enjuague con agua desionizada. Una vez los cañones se extrajeron del baño de sesquicarbonato se cepillaron y enjuagaron varias veces con agua desionizada, no obstante, el pH superficial seguía siendo alcalino, de 9 a 10 (pH-Fix 4,5-10 de Macherey-Naguel).

Se sumergieron en 4 900 litros de agua desmineralizada a una temperatura constante de 35 °C. Para obtener el agua de mayor calidad, la producida por el equipo de ósmosis se filtró posteriormente a través de una columna de intercambio iónico.

El seguimiento del proceso se atendió por la evolución de los parámetros de pH del agua, conductividad y concentración de cloruros por valoración potenciométrica. Las condiciones iniciales del agua fueron pH 7,34, conductividad de 8,10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (25 °C) y una concentración de cloruros de 6,1 ppm.

El pH ascendió rápidamente en cuatro días hasta un máximo valor de 9,5, posteriormente descendió los siguientes 5 días hasta 8,5, manteniéndose estable durante los tres meses que duró esta fase. El valor de conductividad se incrementó al difundir los carbonatos a la disolución hasta los 87 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e igualmente permaneció constante. Respecto a la concentración de cloruro, como era de esperar, se mantuvo constante en torno a 8 ppm durante toda la desalación, por lo que al final de esta fase, las culebrinas se decloruraron y se neutralizaron correctamente.

Transcurridos dos meses tras sacar las piezas del agua, comenzaron a aparecer en Santa Bárbara una serie de manchas blanquecinas, puntuales, muy localizadas, en la zona superior del primer refuerzo. Para determinar su naturaleza, se tomaron muestras y se sometieron a la acción de ácido clorhídrico diluido, se observó bajo microscopio fuerte reacción efervescente con la completa disolución de las muestras. Pueden ser carbonatos remanentes de disolución capilar que al deshidratarse los poros migran al exterior. Si bien no afectan negativamente a la estabilidad del metal, por razones estéticas se eliminan mecánicamente con facilidad, por cepillado, micro-torno y raspado a punta de bisturí.

Terminadas las fases de estabilización, se procedió a completar su limpieza por proyección de abrasivo acrílico y cepillado suave con escobilla de latón. Las concreciones más duras se eliminaron con lápiz de fibra de vidrio y escalpelo.

La finalización de los tratamientos consistió en la aplicación de una capa protectora de Incral 44. Se administraron tres manos de Incral diluido al 25 % (v/v) en acetona para barnizar el exterior. Se aplica también Incral 44 a los primeros 20 cm exteriores del ánima.

Como acabado final, se aplicaron dos manos de cera microcristalina Cosmolloid 80 diluida al 5 % en White Spirit D40. Además de matizar el exceso de brillo del barniz acrílico, la aplicación de la cera confiere carácter hidrofóbico a la superficie de las culebrinas.

5. Conclusiones

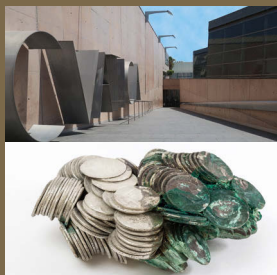
El tiempo extremadamente largo requerido en los tratamientos con sesquicarbonato puede desalentar su utilización frente a algunos más rápidos como polarización catódica/electrolisis (Carlin), porque no elimina la pátina verde en estos objetos. El resultado final debe ser la retención del color original de las superficies oxidadas del cañón, a diferencia del pulido excesivo superficial, tan común en muchas colecciones de cañones de bronce.

Como reflexiones finales orientadas a la conservación de estas importantes piezas, resulta necesaria la consideración de que provienen de excavaciones submarinas y tienen superficies que pueden ser «reactivadas» en función del medio ambiente en el que se expongan. Es perentorio establecer protocolos de monitorización periódica para verificar su estabilidad. Las diferencias significativas en humedad o temperatura, radiaciones UV, así como los VOCs, a largo plazo pueden fragilizar las películas protectoras y causar alteraciones.

El museo ARQUA, en su configuración actual, no presenta condiciones ambientales adecuadas, para superar este riesgo, por lo que se deberían instalar en el interior de vitrinas suficientemente herméticas con control de humedad, así como diseñar un protocolo específico de conservación preventiva a fin de evaluar el comportamiento de la protección acrílica y de cera.

Bibliografía

- Carlin, W., Keith, D. H. y Rodriguez, J. (2001): "Less is more: measure of chloride removal rate from wrought iron artifacts during electrolysis". *Studies in Conservation*, 46: 68-76.
- Hamilton, D. (1998): *Methods of Conserving Underwater Archaeological Material Culture*. Conservation Files: ANTH 605. Conservation of Cultural Resources I. Nautical Archaeology Program. Texas A&M University.
- Keith, D. H., Carlin, W. y De Bry, J. (1997): "A bronze cannon from La Belle, 1686: its construction, conservation and display". *International Journal for Nautical Archaeology*, 26: 144-158.
- Lechuga, C. (1611): *Discurso del Capitán Cristoval Lechuga, en que trata de la Artillería y de todo lo necesario á ella*. Marco Tulio Malatesta. Milán.
- MacLeod, I. (1981): "Bronze Disease : An Electrochemical Explanation". *ICCM Bulletin*, 7: 16-26.
- Memet, J. B. y Baron, G. (2002): "Pièces d'artillerie en bronze: exemple de «Linconnu», canon du bronze du XVIII siècle". *CORE. Conservation et restauration du patrimoine culturel*, 12: 21-26.
- North, N.A. (1987): "Conservation of Metals". En C. Pearson (ed.): *Conservation of Marine Archaeological Objects*. Butterworths. London: 207-252.
- Oliver Laso, J.J. y Ramírez Pernía, A. (2021): "«Bernardino de Texeda me fecit»: Artillería virreinal del Perú a finales del siglo XVI», *Gladius*, 41: 153-176.
- Walle, F. van de (2010): "Balchin's Victory: Bronze Cannon Conservation Report". *Ocean's Odyssey 2. Underwater Heritage management & Deep Sea Shipwrecks in the English Channel & Atlantic Ocean*. Oxbow Books. Oxford: 61-68.



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).