

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



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	

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

SESIÓN III. PATRIMONIO METÁLICO ARQUEOLÓGICO

La experiencia de conservar metales: una labor de aprendizaje continuo The experience of preserving metals: a work of continuous learning MARÍA ANTONIA MORENO CIFUENTES	213
Conservación. Propuesta metodológica para un caso práctico en el Pórtico Oriental de Plaza de Armas en <i>Madīnat al-Zahrā</i> (Córdoba) 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	223
Arqueología y Restauración: un caso práctico en el Pórtico Oriental de la Plaza de Armas de <i>Madīnat al-Zahrā</i> (Córdoba) 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	231
Ciudad de México: un entorno excepcional para la corrosión de metales arqueológicos. Estudio de caso Mexico City: an exceptional environment for archaeological metal corrosion. Case study ÁNGEL ERNESTO GARCÍA ABAJO, TERESITA LÓPEZ ORTEGA Y JOSÉ ANTONIO LÓPEZ PALACIOS	239
Conservación y estudio arqueológico de piezas ibéricas y vacceo-romanas de bronce y hierro procedentes de <i>Dessobriga</i> (Palencia) 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	249
Decoración incisa bajo siglos de corrosión metálica Incised decoration under centuries of metallic corrosion LUCÍA GUTIÉRREZ GONZÁLEZ	257
El conjunto de estatuillas de bronce de la Tumba n.º 14, Oxirrinco (El-Bahnasa), Egipto The set of bronze statuettes from Tomb no. 14, Oxirrinco (El-Bahnasa), Egypt BERNAT BURGAYA MARTÍNEZ	269
Estado de conservación y metodología de intervención de una selección de bronce del yacimiento Casas del Turuñuelo 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	279

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

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

Tratamiento de conservación-estabilización aplicado al conjunto numismático recuperado de la Fragata *Nuestra Señora de las Mercedes*

Conservation and stabilization treatment applied to numismatic set recovered from the frigate *Nuestra Señora de las Mercedes*

SOLEDAD DÍAZ MARTÍNEZ

Conservadora-restauradora
Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE)
soledad.diaz@cultura.gob.es

Resumen

La recuperación del mayor tesoro subacuático encontrado hasta el momento, (con más de 570 000 piezas numismáticas de plata de la Fragata *Nuestra Señora de las Mercedes*), ha supuesto un reto para gestionar su conservación.

La comunicación trata de las acciones de conservación, que comienzan por una exhaustiva caracterización analítica de las monedas y los productos de corrosión formados por permanecer siglos en el fondo del mar, así como la gestión de la conservación del conjunto numismático, los tratamientos de estabilización, desalación, y almacenamiento, que se están realizando, y las exposiciones temporales, dentro del ámbito de la difusión.

Palabras clave: Numismática, monedas de plata, subacuático, caracterización de la corrosión, estabilización

Abstract

The underwater recovery greater treasure found so far (over 570,000 numismatic silver coins of the frigate *Nuestra Señora de las Mercedes*), has been a challenge to manage conservation.

The communication will deal with the conservation actions being carried out, starting with a thorough analytical characterization of coins and corrosion products formed by centuries remain in the seabed. Management and conservation of the numismatic set, stabilization treatments, desalination and storage are being made and temporary exhibitions, in the field of broadcasting.

Key words: Numismatic, coins silver, underwater, corrosion characterization, stabilization

1. Introducción

Cuando en 2014 se abordó desde el IPCE la gestión de la conservación del conjunto numismático, se plantearon una serie de fases secuenciales que requerían afrontarse con una metodología que en muchos casos fue novedosa, teniendo en cuenta los requerimientos, complicaciones técnicas y coste que iba a suponer la aplicación de tratamiento al gran volumen del bien, el mayor Bien Cultural mueble recuperado en este país. A este respecto tuvimos claro desde el principio¹ que, debido a la inestabilidad de las piezas y el medio líquido en el que se encontraban, el conjunto requería necesariamente del establecimiento de estrategias de conservación, priorizando la aplicación del proceso de estabilización.

Los tratamientos de restauración únicamente se aplicaron a una parte representativa del conjunto numismático a unas 44 000 piezas de las más de 570 000 (menos del 10 %), y con el objetivo de que las piezas formaran parte de las exposiciones temporales que se realizaron y la exposición fija del Museo Nacional de Arqueología Subacuática. ARQVA, con el objetivo de su difusión.

Se trata de un conjunto inmenso, seriado, con monedas de forma, dimensiones, peso, aspecto y cronología similar que, además, están fabricadas con el mismo material (plata esterlina) y con el mismo proceso. Prevalece la estabilización del metal antes que su restauración y se busca operatividad bajo parámetros de sostenibilidad e innovación. El proyecto se concibe por y para la conservación del conjunto, y se decide estabilizar las monedas y bloques mediante un sistema de desalación por baños intensivos, secado y almacenamiento. No se restaura el conjunto de momento, únicamente se estabiliza el metal para que no continúen los procesos corrosivos.

2 Estudios previos

Se desarrollan en dos fases: primero la identificación, comprensión y modelización de los mecanismos de corrosión y segundo la caracterización medioambiental del entorno donde están ubicados los cubos y las piezas ya tratadas y secas.

Se usan técnicas analíticas y metodologías multiescala que resulten concluyentes a la hora de comprender los mecanismos que actúan en la degradación y en la cuantificación de las tasas de alteración que presentan los sustratos metálicos.

Las piezas están sumergidas en cubos desde su traslado a España, en principio en agua dulce que ha ido contaminándose, acidificándose o alcalinizándose con el tiempo en función de los tratamientos que había comenzado a aplicar la empresa Odyssey Marine Exploration, bien para vender las monedas en buen estado, o para recuperar la plata del resto.

El análisis de los líquidos y fragmentos desprendidos, indicó la presencia de sales en los fluidos, sobre todo iones cobre, fácilmente identificable por tinter el agua de azul. La siguiente fase analítica fue identificar los productos de corrosión, con el fin de diseñar medidas correctoras y procedimientos para la conservación.

Desde el comienzo de los trabajos se vienen realizando periódicamente la toma de dos medidas: la conductividad del fluido de los cubos por medio de un conductímetro, calibrándose en cada sesión mediante soluciones patrón. Este método de titración potenciométrica se realiza sobre una

¹ Desde el Ministerio de Cultura y Deporte, Subdirección General de Museos, se formó una comisión científica para trazar las líneas generales de la gestión del conjunto. La conservación se encomendó al IPCE, que designo a la autora de este artículo como directora técnica de la intervención en 2014.



Figura 1. Aspecto que presentan muchas monedas debido a la película de corrosión formada, entre otras, por sales de cobre

Figure 1. Appearance that many coins present due to the corrosion film formed, among others, by copper salts

muestra líquida extraída de cada cubo, es relativamente sencillo y se obtienen resultados precisos e inmediatos. Segundo la medida de pH con electrodo, por estabilidad de la disolución y calibración con tampones, que también resulta inmediata.

La caracterización y diagnóstico periódica de los fluidos, nos ha permitido evaluar la intensificación de los procesos de deterioro y priorizar el tratamiento de los cubos con las monedas más alteradas.

La corrosión es un proceso local y sinérgico, en el que influyen demasiados parámetros, no obstante los elementos mayoritarios que aparecen en las monedas, son costras heterogéneas en parte formadas por difusión en la red porosa de: Clorargirita AgCl , de color blanco, Acantita Ag_2S , de color negro, Brochantita CuSO_4 , de color negro, y Covelita CuS , de color negro a gris, carbonatos de cobre (II) $[\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2]$ Malaquita en color verde, Óxido de cobre (CuO), Tenorita en una capa negra de corrosión, Paratacamita $[\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}]$, Nantokita CuCl en color verde, Óxido de cobre (Cu_2O), Cuprita en color rojizo, Atacamita $[\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}]$, Azurita $[2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2]$ Cloruro de plata(I), cobre metálico (Cu) y plata metálica (Ag). En algunas zonas también aparecen cristales de plata pura y localmente contaminaciones externas de sales de hierro. Sobre las películas de oxidación se encuentran capas de carbonato cálcico, concreciones calcáreas provenientes de foraminíferos u otras especies marinas y arena del fondo adherida. Las bacterias en medio subacuático, reducen los iones de sulfato transformándolos en sulfuros de plata, que se distribuye como producto de corrosión por las superficies numismáticas (figura 1).

3. Estado de conservación

Los metales extraídos de entornos marinos suelen modificar drásticamente los mecanismos de corrosión una vez se extraen. En principio las piezas se encontraban o bien hundidas en el fondo marino,

en áreas anóxicas con presencia de microorganismos como las bacterias sulfato reductoras, o depositadas sobre la arena del lecho, expuestas a un medio acuático con bajo contenido de oxígeno y otros elementos disueltos en el agua, como los halógenos. La contaminación biológica, no resulta especialmente significativa en el caso de las monedas. La plata (Ag) es un metal noble que debido a su baja dureza suele alearse, en el caso que nos ocupa con Cu, en una aleación que se denomina plata esterlina o plata de ley de 925, al tener una pureza de entre el 92,5-95 %.

El comportamiento en medio subacuático de las platas esterlinas aleadas, se caracteriza por la presencia de sales de cobre, al ser este el metal menos noble y el que antes se altera. Pero también hay presencia de sales de plata en menor medida (cloruros, bromuros y sulfatos) que forman la película de corrosión en la que predominan los colores verdes de los iones cobre y los oscuros de los sulfuros. La plata es estable en soluciones acuosas, pero en medio salino es muy reactiva, reacciona con los halógenos y los radicales de sulfuro, formando sales y sulfuros de Ag.

Las monedas conservan en general y con definición las superficies, pero los procesos corrosivos las han afectado estructuralmente, presentan corrosión compactada o laminar en superficie y núcleos metálicos porosos. Este hecho las fragiliza e interfiere en su conservación. Otras muchas se encuentran unidas entre sí formando bloques de diversos tamaños. También aparecen piezas fracturadas, o con los bordes muy desdibujados, y hay una gran laminación de costras en el fondo de algunos cubos.

La disolución del cobre de la aleación, la movilidad de las sales solubles de plata provoca enriquecimientos superficiales en algunas piezas, que se adhieren a otras, laminándose durante los procesos de manipulación.

4. Aplicación de los tratamientos

Con el fin de seleccionar, monitorizar y validar los tratamientos, se diseñó la metodología para la resolución de la problemática que subyace en la conservación de este tipo de bienes. Por un lado, y tras la identificación de los múltiples agentes de alteración que presentan las monedas, idear un método de estabilización a fin de establecer estrategias eficaces y sostenibles a medio y largo plazo. Por otro, realizar la diagnosis y estimación de los riesgos derivados de la interacción con los agentes ambientales durante el proceso de almacenamiento. Paralelamente, establecer un cronograma de revisión y mantenimiento, con la perspectiva, una vez concluidas las acciones directas, de diseñar el Plan de Conservación Preventiva como metodología de actuación en el futuro.

El trabajo implica la formación de equipos multidisciplinares de recursos humanos, que se encargan de realizar las actuaciones directas con las piezas. Los métodos y materiales usados para la conservación de los bienes deben estar evaluados, resultar inocuos, sin modificar ni interactuar con los sustratos metálicos.

Tras el estudio de los datos obtenidos, la aplicación de tratamiento comenzó con los cubos que presentaban un pH ácido en la disolución, al ser los más reactivos. Se midió el tiempo de declorurización que requería la estabilización de cada cubo, según los índices de conductividad y pH. El objetivo de la declorurización, es transformar las fases de corrosión del cobre, en compuestos más estables sin alterar integridad de los núcleos metálicos. También evitar la cristalización de las sales solubles en la superficie (figura 2).

Debido a la obligada extensión limitada del artículo, y para aquellas personas interesadas, el proceso de desalación de las piezas puede contemplarse desde el siguiente enlace: «Catalogación y estabilización de las piezas numismáticas de la fragata ‘Mercedes’ en el ARQUA» <<https://www.youtube.com/watch?v=mZ-VoIcJ6o8>>.



Figura 2. Sistema de desalación por medio de baños intensivos

Figure 2. Desalination system by means of intensive baths

5. Embalaje

En un medio tan agresivo para los metales como una atmósfera marina, el sistema de embalaje de las monedas resulta fundamental para conservarlas. El gran volumen del bien y su valor crematístico hizo necesaria la construcción de una cámara acorazada estanca en el Museo, diseñada con un sistema de almacenamiento eficiente a base de módulos compactos móviles.

Los compactos determinan el espacio útil de almacenamiento, condicionando el tamaño de las bandejas para que se ajustasen a las baldas. El conjunto una vez estabilizado se depositará en la cámara acorazada. Pero una serie de filtraciones y la necesidad de realización de obras por la inestabilidad medioambiental del recinto, planteó un nuevo reto, encapsular en palés las bandejas puesto que el material numismático ya seco, no podía permanecer en el aire contaminándose con cloruros.

La gran cantidad de bandejas y cajas numismáticas generadas en el proceso de estabilización, la alta humedad de Cartagena y las obras de reacondicionamiento del Museo, incluida la cámara de seguridad, intensificó el problema del almacenamiento de las piezas en condiciones estables.



Figura 3. Almacenamiento temporal en palés conteniendo bandejas con monedas o bloques, reguladores de HR, absorbentes de VOC y encapsulado con plástico multicapa

Figure 3. Temporary storage on pallets containing trays with coins or blocks, HR regulators, VOC absorbents and encapsulated with multilayer plastic

Se había comprobado que el gel de sílice contenido en bolsas plásticas de cierre zip, se hidrataba aun estando estas bien cerradas, en periodos de un mes. Por tanto, se seleccionaron dos tipos de plástico multicapa para la realización del encapsulamiento. Marvelseal, con una ventana transparente en la parte superior realizada con Escal que permite observar el comportamiento de los materiales reguladores del interior. Los plásticos se termosellan con una pinza de calor, lo que garantiza la estanqueidad en el interior del embalaje.

Los primeros palés están formados por 100 bandejas, conteniendo cada una, tres planchas de espuma de polietileno reticulado de celda (Plastazote[®]) que previamente habían sido troqueladas con huecos del tamaño de las monedas. Con este método la pérdida de espacio por el grosor del plastazote era significativa. Se optó por utilizar monetarios que compactan a la mitad el volumen del sistema anterior.

Era de prever que durante la manipulación para el inventariado, las monedas debían permanecer expuestas a la atmósfera húmeda y por su morfología y la cantidad de monedas, la absorción de humedad sería mínima. Esta absorción se contrarresta introduciendo en el interior de cada palé reguladores de HR y gases y posterior sellado (figura 3).

Los reguladores deben ser:

1. Materiales inertes y estables que no emitan gases corrosivos
2. Materiales tampón que absorban fluctuaciones y volátiles
3. Monitoreo medioambiental en el interior del embalaje (por medio de una sonda Hanwell)
4. Y debido al volumen que se ha de utilizar, además de eficaces que su adquisición resulte un costo moderado.

En cada palé se ha colocado medio kilo de gel de sílice con un indicativo cromático que permite ver cuándo se satura, repartido en dos bolsas microperforadas, y otras dos bolsas conteniendo materiales tampón contra los VOC. Tras analizar varios tipos de agentes absorbentes de gases, se probó y seleccionó un compuesto utilizado en la industria alimentaria denominado BI-ON, un granulado en forma de *pellet* cilíndrico de arcillas naturales impregnadas con reactivos, mezclado con *pellets* de carbón activo, para la absorción de gases. Además de las medidas de control a los líquidos de los cubos, se realiza periódicamente la revisión de los palés, y si se detecta que los materiales reguladores están saturándose, (por el oscurecimiento del gel de sílice) se abren los palés, se cambian los reguladores y vuelven a ser sellados.

Gracias a la sonda dentro de uno de los palés, se ha verificado la eficacia y estanqueidad del interior de los embalajes, las medidas de HR se mantienen por debajo del 20 %, un rango casi imposible de conseguir en otros ámbitos museísticos y que resulta especialmente beneficioso para la conservación de los metales.

Las bandejas con monedas que se inspeccionan de manera aleatoria cuando se abren los palés, se encuentran estables, sin presentar indicios de focos activos. Otra muestra más de la validez del método.

6. Conclusiones

Enfrentarse a un bien cultural de estas dimensiones, características y con un número de piezas tan elevado, requiere reflexionar sobre la toma de decisiones e implantar métodos de actuación que garanticen la estabilidad de cada pieza, así como la búsqueda de materiales que cumplan con los requisitos enunciados en los criterios y deontología profesional y resulten además accesibles, eficaces y sostenibles.

A excepción de las bandejas y monetarios proporcionados por el Museo (que son estables) todos los materiales que se utilizan tanto en el proceso de inventariado como en el de almacenamiento, se han analizado, probado, comparado y evaluado minuciosamente.

Actualmente se encuentran documentadas, estabilizadas, almacenadas y paletizadas unas 178 965 piezas numismáticas, más o menos un tercio del conjunto.

El sistema de embalaje que resulta muy eficaz, como viene demostrándose en los cinco últimos años, no deja de ser provisional hasta la definitiva ubicación del conjunto en la cámara habilitada.

Además de los trabajos propios de conservación, paralelamente se han ejecutado proyectos de investigación y realizado acciones de formación sobre la conservación de materiales sumergidos, cumpliendo con el planteamiento integral de la conservación del patrimonio cultural subacuático. Este es uno de los patrimonios más expuesto al furtivismo y a los riesgos y emergencias derivados del cambio climático, como vienen anunciando organizaciones internacionales, ICCROM, UNESCO y otras, que no dejan de dar la voz de alarma.

Tras la conclusión de las obras del museo y el paro derivado del COVID-19, recientemente se ha aprobado un contrato para la finalización de los trabajos de estabilización e inventariado. Está previsto que estos concluyan a mediados de 2023.

Agradecimientos

Este trabajo se realiza gracias a un amplio equipo interdisciplinar con técnicos del Departamento de Investigación del IPCE y MNAS-ARQVA, desde aquí agradezco su colaboración, especialmente a Juan Luis Sierra, químico del MNAR-ARQVA por su generosa e inestimable ayuda.



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).