

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

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

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

LAURA GARCÍA BOULLOSA

Arkeologi Museoa
Calzadas de Mallona, 2. 48006 Bilbao
arkeologimuseoa.teknikari4@bizkaia.eus
<https://orcid.org/0000-0002-8126-3501>

Resumen

En las excavaciones arqueológicas que se realizan en Bizkaia (País Vasco) suelen recuperarse decenas o cientos de objetos fabricados en hierro. Teniendo en cuenta la localización próxima al mar de los yacimientos, existe la posibilidad de que las condiciones de enterramiento tengan un alto contenido en cloruros —un acelerador de la corrosión—, por lo que podemos prever que estos materiales comenzarán a deteriorarse inmediatamente tras la excavación.

Mitigar la corrosión de amplias colecciones de materiales férricos se presenta como un desafío. En este sentido, desde el Arkeologi Museoa se ha desarrollado un modelo de intervención que tiene como objetivo la estabilización de una gran cantidad de objetos, tratando de minimizar los costes y mejorando la eficiencia de las intervenciones. El tratamiento ha sido aplicado a un grupo de objetos arqueológicos. En este artículo se presentan los resultados obtenidos, las ventajas e inconvenientes y los riesgos asociados a la conservación a largo plazo de estos materiales.

Palabras clave: conservación de metales, cloruros, tratamientos masivos, tratamientos colectivos, akaganeíta, corrosión

Abstract

In the archaeological excavations carried out in Biscay (Basque Country), tens or hundreds of iron remains are often recovered. Taking into account that the archaeological sites in this area are near the sea, there is a chance that their burial conditions have a high content of chlorides — a corrosion accelerator. For that reason, we can foresee that these archaeological materials will begin to deteriorate immediately after the excavation finishes.

Reducing the corrosion rate of an extensive collection of ferrous materials becomes a challenge. In this vein, an intervention model aimed at stabilizing a great amount of objects while minimizing costs and enhancing the efficiency of the interventions has been developed at the Arkeologi Museoa.

The treatment has been applied to a group of archaeological remains. The results obtained, the advantages and drawbacks, and the risks associated with long term conservation are presented in this paper.

Key words: metal conservation, chlorides, massive treatments, collective treatments, akaganeite, corrosion

1. Introducción

Entre las evidencias arqueológicas que se recuperan en las excavaciones que se realizan en Bizkaia destacan, por cantidad, los objetos fabricados en hierro. Se trata, normalmente, de pequeños objetos que tras ser excavados se almacenan en el centro de depósito de materiales arqueológicos designando por el Gobierno Vasco (Arkeologi Museoa, en el caso de Bizkaia).

La principal debilidad que presentan estos objetos de cara a su conservación a largo plazo, se relaciona con un producto de corrosión: el oxihidróxido de hierro o akaganeíta (β -FeOOH), asociada al ion cloruro, que se desarrolla en el interior de los objetos metálicos en la fase posterior a la excavación, provocando el colapso de una gran cantidad de materiales.

La conservación preventiva, empleada con efectividad para la preservación de materiales arqueológicos, ante este tipo de deterioro propone unos parámetros de difícil implementación cuando se trata de colecciones con propósitos de exhibición e investigación. La alternativa a la conservación preventiva son los tratamientos curativos, que se suelen aplicar de manera individualizada sobre cada objeto. Estos tratamientos reducen la corrosión y mejoran la tasa de supervivencia de los materiales a largo plazo; el inconveniente, es que estas intervenciones son lentas y costosas, y por lo tanto se aplican a un número reducido de materiales. Esta situación limita la esperanza de vida de un amplio grupo de materiales dentro de la colección y, por tanto, su potencial como fuente de información.

2. Métodos para la estabilización de objetos arqueológicos de hierro

2.1. La corrosión post-excavación: posibilidades y límites de la conservación preventiva

En el ambiente post-excavación, bajo nuevas condiciones ambientales los objetos arqueológicos se secan. Como consecuencia, las sales que se concentran en el interior de los productos de corrosión se transforman. Si la cantidad de iones cloruro presente en el interior del objeto es baja, precipitarán productos de corrosión como goetita α -FeO(OH) o lepidocrocita γ -FeO(OH); si la cantidad de iones cloruro es elevada, se formará akaganeíta β -FeO(OH) (Refait y Génin, 1997). El problema que esto ocasiona, es que, tal como describe Selwyn (2004: 296), el volumen molar de estos oxihidróxidos de hierro es tres veces mayor que el volumen del hierro, lo que ocasionará tensiones en el interior del objeto, provocando fisuración y posterior fragmentación del mismo (figura 1).

Las sales de cloruro de hierro son muy higroscópicas: delicuescentes por encima de una humedad relativa (HR) de 56 % (Turgoose, 1982). Su higroscopicidad permite crear un electrolito fuerte en contacto con el metal, además de movilizar los iones cloruro —que se localizan en las zonas anódicas del objeto—, causando la corrosión del hierro incluso por debajo del 15 % de HR (Watkinson y Lewis, 2005; Watkinson, Rimmer y Emmerson, 2019). Por esta razón, se recomienda almacenar el hierro arqueológico por debajo del 12 % para prevenir su corrosión (Watkinson y Lewis, 2005).

Sobre la estabilidad de los objetos de hierro contaminados por cloruro, estudios realizados por Suzanne Keene (1994: 259) indican que el control ambiental en el embalaje no se relaciona con la estabilidad de los objetos de hierro. Esta situación podría deberse a la condensación que se produciría en el interior de los poros del metal (Schreir, 1976, según Keene). Otros autores sugieren que la presencia de cloruro o ácido clorhídrico —en fase vapor— podría desprenderse de los objetos y acumularse en el interior del embalaje, alcanzando niveles peligrosos y aumentando la corrosión (Lewis, 2009: 168, 222), aunque hay poca investigación al respecto.

Sin embargo, asumiendo que los valores de humedad relativa inferiores a 12 % permitieran la conservación de los objetos contaminados por sales, conseguir estos parámetros en un gran depósito implica

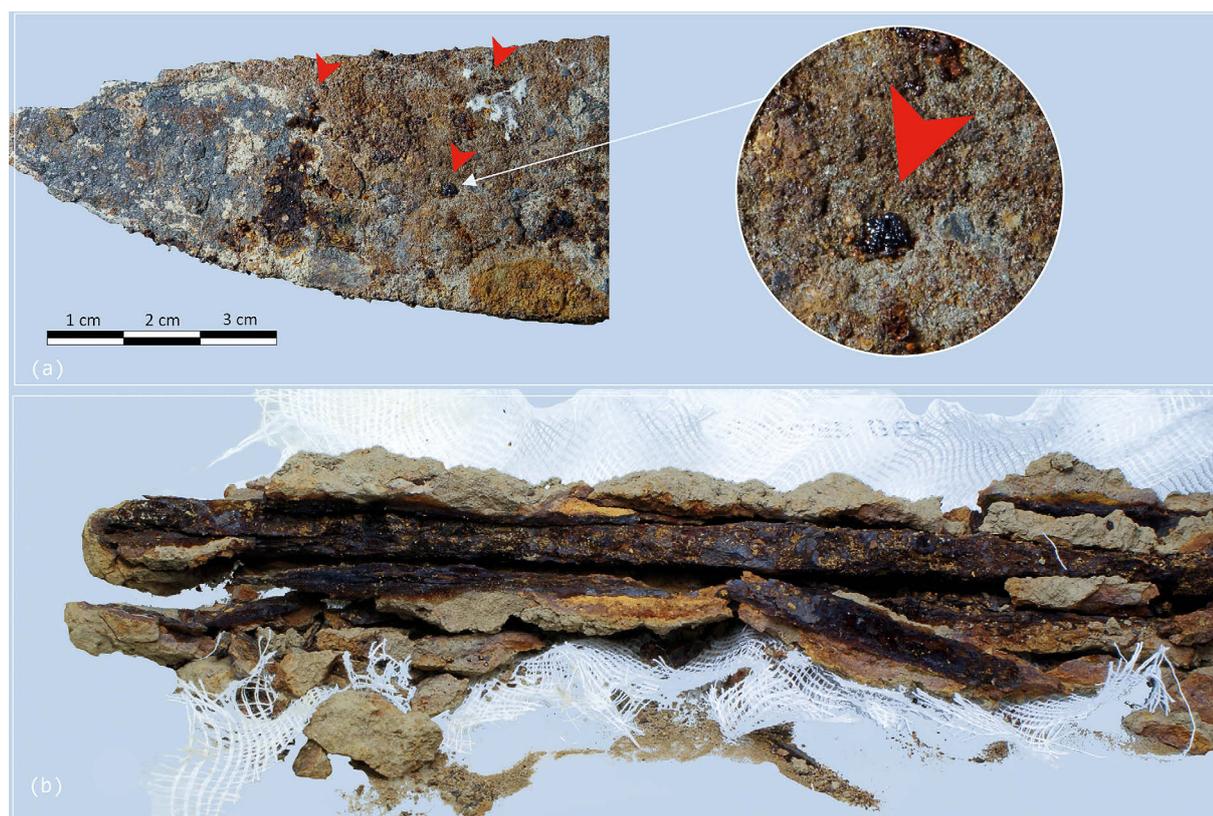


Figura 1. Objetos arqueológicos con evidencias de corrosión post-excavación. a. Los productos de corrosión asociados al cloruro férrico son deliquescentes, por lo que se forman pequeñas gotas sobre el metal. b. En un nivel más avanzado, los objetos se fisuran y fracturan, llegando, en ocasiones, a colapsar

Figure 1. Archaeological objects with evidence of post-excavation decay. a. Corrosion products associated to ferric chloride are deliquescent, causing weeping over the metal. b. In a higher level of decay, objects crack and fragment, which sometimes leads to collapse

un elevado consumo de recursos. Por otro lado, cabe señalar que este estricto control repercutiría en la accesibilidad de las colecciones, limitando los movimientos necesarios para las tareas de investigación y exhibición de los materiales.

De esta manera, diseñar una estrategia para la preservación de este tipo de materiales basándonos, únicamente, en la conservación preventiva, podría representar el modelo teórico ideal, pero es difícil de llevar a cabo en la práctica. La mayoría de los depósitos de colecciones arqueológicas no pueden asegurar esos parámetros con los recursos disponibles actualmente. Afortunadamente, esta línea de investigación está activa y no deja de ampliarse con nuevas investigaciones.

2.2. Búsqueda de un tratamiento eficaz para aplicar a un gran número de objetos

Con el objetivo de intervenir amplias colecciones de materiales arqueológicos, algunos investigadores han propuesto tratamientos que denominaron en lengua inglesa *mass-treatments* o *mass-conservation*—que podríamos traducir como tratamientos colectivos o tratamientos masivos— y que tienen como objetivo establecer una metodología que permita la estabilización de una gran cantidad de objetos de una manera más eficiente optimizando los recursos disponibles (Schmidt-Ott y Oswald, 2006a; Schmutzler y Ebinger-Rist, 2008; Mazzola, 2009; Einarsdóttir, 2012).

El método de estabilización más usado actualmente para la desalación de hierro arqueológico es el que emplea soluciones alcalinas, creadas a partir de sulfito alcalino (North y Pearson, 1975) o hidróxido

sódico (North y Pearson, 1978). Ambos tratamientos han demostrado su eficacia (Wang *et alii*, 2008; Rimmer y Wang, 2010) y en los últimos años su metodología ha sido optimizada, bajando su concentración para hacerlos más sostenibles (Schmidt-Ott y Oswald, 2006b), o mejorando su eficacia mediante desoxigenación (Watkinson y Al-Zahrani, 2008; Rimmer, 2012).

Según varios investigadores el tratamiento con sulfito alcalino es más eficaz que el tratamiento con hidróxido sódico (Wang, 2007: 132); siempre y cuando los objetos hayan sido recientemente excavados y se intervengan sin dejar que se sequen (Selwyn, 2004: 301), ya que en este contexto no han precipitado compuestos de hierro que actúan como una barrera de difusión para los iones cloruro (Schmutzler y Ebinger-Rist, 2008: 251). Esta «barrera» se relaciona con fases minerales tales como la akaganeíta, ya que esta tiene una estructura tubular que presenta un ion cloruro en su interior. El principal problema para la eliminación de ese ion cloruro presente en el interior es que este tiene un tamaño mayor que las entradas de la estructura cristalina, por lo que permanece atrapado. La conversión de la akaganeíta en goetita liberaría ese cloruro, y esto podría producirse cuando se consigue un pH elevado en el tratamiento (Vivies *et alii*, 2007).

El sulfito alcalino, según Keene, es un tratamiento más agresivo para objetos muy mineralizados; y los frágiles pueden desintegrarse (Keene, 1994: 262).

3. Material

Los materiales seleccionados pertenecen a campañas de excavación realizadas durante los años 2008 y 2009. Los materiales habían permanecido en un medio ambiente sin control hasta la entrega en el Museo y posteriormente fueron almacenados en una caja hermética acondicionada con gel de sílice durante cuatro años. En el momento en el que se inició el tratamiento, la mayor parte de los objetos presentaban deterioros compatibles con la corrosión asociada al ion cloruro: fisuración, fracturación y/o colapso.

4. Propuesta

Tras la valoración del estado de conservación de la colección, de los posibles tratamientos que podrían reducir las tasas de corrosión, así como los medios técnicos disponibles, se realizó el diseño de la metodología que proponemos. Se ha tenido en cuenta que el modelo propuesto cumpla los criterios establecidos para las intervenciones de conservación, siguiendo las directrices marcadas por los organismos internacionales (ECCO, 2003).

4.1. Estudio previo: clasificación y documentación de materiales

Como primer paso, se realizó un estudio individualizado de cada objeto, lo que permitió crear grupos con patologías comunes a los que se les aplicaría una intervención similar. Este modelo de intervención «por procesos» es interesante para excavaciones con un gran número de objetos, ya que permite organizar los tratamientos de un modo más eficiente.

Los materiales férricos seleccionados para este ensayo debían cumplir dos requisitos básicos: contener núcleo metálico y mostrar evidencias de contaminación por cloruros. Determinar con exactitud la existencia de núcleo metálico no es sencillo, se puede realizar un simple ensayo, tal y como describe Watkinson (1983: 86) mediante la inmersión del objeto en etanol en el interior de un volumen controlado. Según este

autor, en ratios mayores de 3:1 (peso:volumen) el objeto contiene todavía núcleo metálico, mientras que en ratios inferiores a 2:9 estaría totalmente mineralizado, por lo que en el interior del objeto existe menos cantidad de cloruro. Esto puede ayudar a inferir el comportamiento de los objetos tras la excavación.

Para realizar la documentación de los objetos previa al tratamiento, se empleó un microscopio estereoscópico (Olympus SZ61), una balanza decimal COBOSXX, una cámara fotográfica Sony Alpha conectada a objetivo 1:1 y la base de datos empleada en el Laboratorio del Museo. Cada uno de los objetos se analizan con lupa binocular, tratando de documentar restos orgánicos o su impronta, u otros metales asociados. El peso, dimensiones, y tipología se registran en la base de datos, con la sigla del objeto y el número de intervención de conservación, que es un número sencillo que permite identificarlo a lo largo del tratamiento.

4.1.1. Restos de madera o material orgánico asociados: pseudomorfos

Los materiales orgánicos —ya sean celulósicos o proteínicos— que en ocasiones se conservan asociados a los metales arqueológicos, se descomponen en soluciones alcalinas debido a la saponificación de los compuestos. Por este motivo, los restos orgánicos preservados en las superficie de los objetos, se protegieron mediante consolidación puntual con una resina acrílica.

4.2. Limpieza y desalación

Se realizó una limpieza mecánica individualizada sobre cada objeto con la ayuda de un equipo de microabrasión Sandmaster® con árido proyectado a baja presión para conseguir eliminar el sedimento (S) y el medio transformado (MT) hasta alcanzar la capa de corrosión formada por productos densos (CPD).

El tratamiento de desalación empleado fue una solución de NaOH 0,5M con pH 13,5 aplicado a temperatura ambiente.

Cada objeto fue tratado de manera individualizada, introducido en un recipiente de cierre hermético de volumen 1:10 en relación con su peso (g:ml) y etiquetado con el número de tratamiento (figura 2). Las soluciones de desalación fueron cambiadas en base a un criterio planificado de manera regular: el primer cambio se realizó a las tres semanas y posteriormente se realizó cada ocho semanas, durante ocho meses, con un total de cinco cambios.

Experimentos realizados por Schmidt-Ott y Oswald (2006b) demuestran que las soluciones de desalación pueden cambiarse cada 15 días, o menos frecuentemente, en lugar de semanalmente y que concentraciones más bajas de la solución e intervalos más largos entre los cambios, pueden reducir el coste y bajar el impacto ambiental. En algunos estudios la tasa de extracción baja por debajo del 10 % después de tres semanas de tratamiento, hasta alcanzar 10 semanas (Wang *et alii*, 2008), pero estos valores dependen de la temperatura, del tipo de disolución empleada en el tratamiento o del grosor de la capa de corrosión.

4.3. Tratamientos de inhibición y protección final

Asumiendo la responsabilidad del empleo de productos más sostenibles con el medio ambiente, en este ensayo no se usaron inhibidores de corrosión, salvo el ácido tánico. Al tratarse de un material derivado de fuentes naturales y avalado por su larga trayectoria, usado desde los años 60 en el ámbito de la conservación del patrimonio metálico.

La capa de protección final se realizó con una resina acrílica en disolución empleando un disolvente volátil. El almacenaje se realizó en cajas herméticas dotadas con gel de sílice (figura 3).



Figura 2. Cada objeto fue tratado de manera individualizada, en un recipiente adaptado a su tamaño y señalado con el número de tratamiento, que permite identificarlos a lo largo del proceso

Figure 2. Each object was treated individually in a container adapted to its size and marked with the number of the treatment, which allows for identification at any time during the process

5. Resultados y discusión

Hemos evaluado los resultados del ensayo en función de la integridad física del material. Tras el tratamiento se realizó la revisión de los 384 objetos tratados y se han identificado tres grupos: La mayoría (54 %) comenzaron el tratamiento estando fisurados o con leves fracturas y finalizaron el tratamiento sin cambios estéticos apreciables; un porcentaje importante de objetos (38 %) habían colapsado previamente al inicio del tratamiento y se han podido recuperar volviendo a adherir los fragmentos; el siguiente grupo de objetos (8 %) habían colapsado previamente y tras el tratamiento no se ha podido recuperar su forma; por último, un único objeto ha colapsado estando en la disolución y no se ha podido recuperar (<1 %).



Figura 3. El grupo de objetos intervenidos y embalados. Se han empleado etiquetas impresas en papel de poliéster y cajas herméticas con un producto adsorbente de humedad (gel de sílice)

Figure 3. The group of artifacts treated and packed. Labels printed in polyester and hermetic boxes with a moisture adsorbent material (silica gel) have been used

En base a los resultados, un único objeto ha visto comprometida su integridad física mientras que los demás la han visto mejorada. Existe, por lo tanto, riesgo de fragmentación de los objetos durante el tratamiento, pero en este caso un porcentaje muy bajo, menor del 1 %. Además, tras 24 meses desde el fin del tratamiento no se observan nuevos desprendimientos, fisuras o reactivación de la corrosión.

Sin embargo, podría existir pérdida de información asociada que no se haya documentado previamente. Como podría ser el caso de metales, tales como estaño, plata o plomo, usados para crear láminas protectoras o decoraciones y su registro, en ocasiones, puede pasar inadvertido si no se realizan analíticas. Para tratar de paliar el problema que pueda surgir con la interferencia del tratamiento con futuras analíticas, antes de su inicio se seleccionaron muestras que actúan de testigo o reserva de las

distintas unidades estratigráficas. De tal manera que permitan la posibilidad de realizar dataciones, estudios de isótopos o procedencias, ya que no existe suficiente investigación sobre las posibles interferencias del este tipo de tratamiento en futuras analíticas.

6. Conclusiones

Evaluando la propuesta, parece razonable afirmar que el elevado pH de la disolución ha posibilitado la estabilidad del metal (su pasivación), durante el largo tiempo que este permanece en la disolución, permitiendo su conservación. Sin embargo, en un pequeño porcentaje (<1 %) no se produjo tal pasivación, alterándose el metal. En relación a las futuras analíticas, se considera que este tratamiento es poco invasivo, y que la información metalúrgica se conserva.

Así mismo, es importante reconocer que no existen recetas simples para aplicar a todos los metales, aun perteneciendo a un mismo yacimiento, y hay que valorar los riesgos previamente. Esta propuesta aporta organización para la realización de tratamientos en grupo, pero deberá realizarse un estudio previo de cada objeto.

Se considera, por lo tanto, necesario seguir investigando en tratamientos sostenibles y optimizados, de tal manera que se pueda reducir la corrosión y, por lo tanto asegurar la conservación, de amplias colecciones de materiales. También se considera necesario ampliar la conciencia de los riesgos existentes en la conservación de este tipo de materiales y que personal especialista en conservación actúe desde la excavación, para poder simplificar y economizar las futuras intervenciones.

Bibliografía

- ECCO: European Confederation of Conservator-restorers' Organization (2003). *Professional Guidelines: The profession, code of ethics, basic requirements for education in conservation-restoration*. Brussels.
- Einarsdóttir, S. (2012): *Mass-conservation of Archaeological Iron Artefacts: A Case Study at the National Museum of Iceland*. Grade Thesis. Göteborgs Universitet: Institutionen för kulturvård.
- Keene, S. (1994): "Real-time survival rates for treatments of archaeological iron". En D.A. Scott, J. Podany y B. Considine (eds): *Ancient & Historic Metals: Conservation and Scientific Research*. Getty Conservation Institute: 249-264.
- Lewis, M.T (2009): *The Influence of Atmospheric Moisture on Corrosion of Chloride-Contaminated Wrought Iron*. PhD Thesis. Cardiff University.
- Mazzola, C. (2009): "What to do with Large Quantity Finds in Archaeological Collections"? – A KUR project". *News in conservation*, 15.
- North, N.A. y Pearson, C. (1975): "Alkaline Sulfite Reduction Treatment of Marine Iron". *ICOM Committee for Conservation 4th Triennial Meeting*. Venice.
- North, N.A. y Pearson, C. (1978): "Washing Methods for Chloride Removal from Marine Iron Artefacts". *Studies in Conservation*, 23, 4: 174-186.
- Refait, P. y Génin, R. (1997): "The mechanisms of oxidation of ferrous hydroxychloride $\exists\text{-Fe}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ in aqueous solution: the formation of akaganeite vs goethite". *Corrosion Science*, 39: 539-553.
- Rimmer, M. (2012): "The efficiency of chloride extraction from archaeological iron objects using de-oxygenated alkaline solutions". *Studies in Conservation*, 57: 29-41.
- Schmidt-Ott, K. y Oswald, N. (2006a): "Neues zur Eisenentsalzung mit alkalischem Sulfit". *VDR Beiträge*, 2: 126-134.

- Schmidt-Ott, K. y Oswald, N., (2006b): "Alkaline sulfite desalination: tips and tricks". *VDR conference handbook. Archaeological Metal Finds – From Excavation to Exhibition*. Mannheim.
- Schmutzler, B. y Ebinger-Rist, N. (2008): "The conservation of iron objects in archaeological preservation – Application and further development of alkaline sulphite method for conservation of large quantities of iron finds". *Materials and Corrosion*, 59: 248-253.
- Schrier, L. (1976): *Corrosion Handbook*. Newnes-Butterworth. London.
- Selwyn, L. (2004): "Overview of archaeological iron: The corrosion problem, key factors affecting treatment, and gaps in current knowledge". *Metal 04: Proceedings of the International Conference on Metals Conservation*. Canberra: 294-306.
- Turgoose S. (1982): "Post Excavation Changes in Iron Antiquities." *Studies in Conservation*, 27: 97-101.
- Vivies, P., Cook, D., Drews, M., González, N., Mardikian, P. y Memet, J.B. (2007): "Transformation of akaganeite in archaeological iron artefacts using subcritical treatment". *Metal 07: Proceedings of the International ICOM-CC Metal WG Conference*. Amsterdam: 5, 26-30.
- Wang, Q. (2007): "An investigation of deterioration of archaeological Iron". *Studies in Conservation*, 52: 25-134.
- Wang, Q., Dove, S., Shearman, F. y Smirniou, M. (2008): "Evaluation of methods of chloride ion concentration determination and effectiveness of desalination treatments using sodium hydroxide and alkaline sulphite solutions". *The Conservator*, 31:1: 67-74.
- Watkinson, D. (1983): "Degree of mineralization: its significance for the stability and treatment of excavated ironwork". *Studies in Conservation*, 28: 85-90.
- Watkinson D. y Lewis, M.T (2005): "Desiccated Storage of Chloride Contaminated Archaeological Iron Objects". *Studies in Conservation*, 50:4: 241-252.
- Watkinson, D. y Al-Zahrani, A. (2008): "Towards quantified assessment of aqueous chloride extraction methods for archaeological iron: De-oxygenated treatment environments". *The Conservator*, 31:1: 75-86.
- Watkinson, D., Rimmer M. y Emmerson, N. (2019): "The Influence of Relative Humidity and Intrinsic Chloride on Post-excavation Corrosion Rates of Archaeological Wrought Iron". *Studies in Conservation*, 64:8: 456-471.



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).