

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, Oxirrincó (El-Bahnasa), Egipto	269
The set of bronze statuettes from Tomb no. 14, Oxirrincó (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> The conservation of the bronze culverins recovered from the <i>Nuestra Señora de las Mercedes</i> frigate JUAN LUIS SIERRA MÉNDEZ		427
La Estación Central de Santiago de Chile. Arquitectura metálica y vanguardia decimonónica The Central Station of Santiago de Chile. Metallic architecture and nineteenth-century avant-garde MARÍA PAZ VALENZUELA BLOSSIN		437
Las jardineras tipo Monier en las Galerías Punta Begoña. Degradaciones y proceso de conservación 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		445
Los inicios de la industria del hierro en Madrid en el siglo XIX: cerramientos de edificios reseñables The beginnings of the iron industry in Madrid in the 19 th century: remarkable building enclosures SUSANA LÓPEZ GINESTAL Y SOLEDAD DÍAZ MARTÍNEZ		453
Restauración del Patrimonio Metálico Urbano: la escultura de la Flama Rotaria de la ciudad de Valencia Restoration of the Urban Metallic Heritage: the sculpture of the Rotary Flame of the city of Valencia PABLO GRIÑENA		461
Westfalia Manteigueira com Centrifugadora: desafios e soluções de conservação Westfalia Butter with Centrifuge: challenges and conservation solutions ANDREIA ROMÃO		471

Patologías y restauración del grupo escultórico de la fuente de las Tres Gracias de Málaga

Pathologies and restoration of a sculpture group in the fountain Tres Gracias at Malaga

DANIEL MORALES-MARTÍN

Instituto de Historia, CSIC. Madrid
daniel.morales@cchs.csic.es
<https://orcid.org/0000-0003-1966-0511>

FERNANDO AGUA

Instituto de Historia, CSIC. Madrid
fernando.agua@cchs.csic.es
<https://orcid.org/0000-0002-6868-8521>

MANUEL GARCÍA-HERAS

Instituto de Historia, CSIC. Madrid
manuel.gheras@cchs.csic.es
<https://orcid.org/0000-0002-4468-2694>

RAFAEL RUIZ DE LA LINDE

Chapitel Conservación y Restauración.
Antequera (Málaga)
info@chapelrestauracion.com

M^a ÁNGELES VILLEGAS

Instituto de Historia, CSIC. Madrid
mariangeles.villegas@cchs.csic.es
<https://orcid.org/0000-0002-9727-5478>

Resumen

El grupo escultórico de la Fuente de las Tres Gracias de Málaga se llevó a cabo según modelo del escultor J.B. Klagmann en fundición de hierro, y fue realizado en el taller de A. Durenne. El Ayuntamiento de la ciudad lo adquirió en 1879 para ser ubicado en la plaza de la Constitución. Tras varios traslados la fuente se encuentra actualmente en la plaza del General Torrijos.

El mal estado de conservación de la fuente se ha evaluado arqueométricamente mediante observaciones de microscopía óptica y de microscopía electrónica de barrido de emisión de campo combinada con espectrometría de dispersión de energías de rayos X, metalografía y difracción de rayos X. La propuesta de los posibles tratamientos de restauración se ha ensayado con ciclos de envejecimiento acelerado en cámara climática y cámara de niebla salina.

Los resultados obtenidos han permitido confirmar que los procesos de corrosión se han producido como consecuencia de las condiciones ambientales del emplazamiento y uso de la fuente, así como diseñar la estrategia y criterios de intervención. En este sentido destacan como principales conceptos una ejecución basada en la mínima intervención y una conservación preventiva periódica en el tiempo bajo responsabilidad de los gestores legales del monumento.

Palabras clave: Arqueometría, Conservación-Restauración, Málaga, fuente, siglo XIX, metal

Abstract

The sculpture group in the fountain Tres Gracias at Malaga was made of cast iron according to the model by the sculptor J.B. Klagmann, and was made in the workshop of A. Durenne. The city hall acquired the group in 1879 to be located in the Constitución square. After several transfers the fountain is currently located in the General Torrijos square.

The bad state of preservation of the fountain has been archaeometrically evaluated by optical microscopy and field emission scanning electron microscopy observations combined with energy dispersive X-ray spectrometry, metallography and X-ray diffraction. The proposal of possible restoration treatments has been tested with accelerated aging cycles in climatic and spray salt chambers.

The results obtained confirm that corrosion processes have occurred as a consequence of environmental conditions of the site and use of the fountain, and have allowed the design of the strategy and intervention criteria. In this sense, the main concepts to be highlighted are an execution based on minimum intervention and periodic preventive conservation over time under the responsibility of the monument's legal managers.

Key words: Archaeometry, Conservation-Restoration, Malaga, fountain, 19th century, metal

1. Introducción

La fuente de las Tres Gracias de Málaga data de 1879 cuando el Ayuntamiento de la ciudad la adquirió a petición del entonces ingeniero municipal J.M. de Sancha y Valverde para ser ubicada en la plaza de la Constitución tras su remodelación.

La fuente, de estilo neoclásico, es una obra seriada comprada por catálogo al taller de fundición de A. Durenne. El modelo se corresponde con una réplica de la fuente de los Tres Ríos (1864) dispuesta en la plaza Saint-Jean de Melun (París) realizada por la misma casa. El diseño es obra del escultor francés J.B. Klagmann que representa una alegoría de los ríos que pasan por el departamento de Sena y Marne, mitad oriental de la región de Île-de-France. La composición del monumento está dividida en tres niveles: pedestal, cuerpo central y remate. El primero de ellos tiene planta triangular en cuyos ángulos se encuentran niños sentados sobre cisnes. El segundo está formado por una gran taza circular sobre la que se erigen las Tres Gracias con sus correspondientes atributos: cornucopia (río Sena), hoz y espiga de trigo (río Marne) y remo (río Yonne). Finalmente se encuentra un vaso surtidor a modo de remate. Además, al conjunto se integra una verja baja que rodea a la fuente.

Desde su inauguración en mayo de 1880 hasta 1910 la fuente se encontraba en la plaza de la Constitución. A partir de esta fecha se trasladó a una plaza enfrente de la acera de la Marina. Trece años después se ubicó en su emplazamiento actual, la glorieta del General Torrijos en el distrito Centro (Carranza *et alii*, 2007). Esta localización supone un punto crítico para la conservación de la fuente debido a su exposición permanente al tráfico rodado y a la contaminación que esto supone. Asimismo, la proximidad al Muelle 1 del puerto de Málaga sitúa al conjunto a 225 m del mar. Adicionalmente, puesto que se trata de un elemento ornamental, también hay que tener en cuenta el efecto continuado del flujo de agua.

A unas condiciones ambientales adversas se han de sumar las distintas intervenciones llevadas a cabo sobre la fuente, realizándose la última en 2008. Generalmente, estas actuaciones han consistido en la aplicación de capas de pintura verde, lo que ha hecho que hoy la ciudad de Málaga asocie dicho color al grupo escultórico. Dado el mal estado de conservación en el que se encontraba el monumento se encargó a la empresa Chapitel Conservación y Restauración, S.L.U. su restauración, la cual empezó en marzo de 2020.

La presente investigación tiene por objeto el estudio de los materiales metálicos de la fuente de las Tres Gracias de Málaga. El trabajo se orienta a la caracterización arqueométrica de dichos materiales, diagnosis de los mecanismos químicos de deterioro y corrosión experimentados por estos, así como guiar y asesorar sobre los criterios de conservación y restauración más adecuados para su correcta preservación en el tiempo.

2. Fase experimental

Se ha llevado a cabo la caracterización químico-física de un total de 14 muestras, identificadas con la signatura TG-1 a TG-14. En la tabla 1 se resume el conjunto de materiales analizados, una descripción de cada muestra y las técnicas de análisis utilizadas para su estudio.

En los resultados obtenidos mediante la observación en superficie con lupa binocular (Motic SMZ 168) se aprecian signos de degradación en los que destacan los depósitos de suciedad y la formación de ampollas. La capa de degradación muestra tonos verdes lo cual puede deberse bien a restos de pintura aplicada en intervenciones anteriores, o bien a la colonización de microorganismos favorecida tanto por el ambiente húmedo de la ciudad como por el agua de la propia fuente. El estudio de las costas de corrosión (TG-2, TG-3, TG-4, TG-5, TG-8 y TG-10) indica la presencia de óxidos y oxohidróxidos de hierro de espesor considerable y escasa adherencia al cuerpo metálico (Villegas *et alii*, 2013).

Muestra	Descripción	Técnicas de análisis
TG-1	Fragmentos pintura	Lupa binocular
TG-2	Polvo costra corrosión	Lupa binocular DRX MEBEC-EDS (superficie)
TG-3	Polvo costra corrosión	Lupa binocular DRX MEBEC-EDS (superficie)
TG-4	Fragmentos grandes costra corrosión	Lupa binocular DRX MEBEC-EDS (superficie y sección)
TG-5	Polvo costra corrosión	Lupa binocular
TG-6	Fragmentos pintura	Lupa binocular
TG-7	Fragmentos costra corrosión	Lupa binocular
TG-8	Polvo costra corrosión	Lupa binocular
TG-9	Fragmento pintura + costra corrosión	Lupa binocular MEBEC-EDS (sección)
TG-10	Fragmentos grandes costra corrosión	Lupa binocular DRX MEBEC-EDS (superficie y sección)
TG-11	Fragmentos grandes pintura	Lupa binocular MEBEC-EDS (superficie)
TG-12	Fragmento grande pintura + costra corrosión	Lupa binocular MEBEC-EDS (sección)
TG-13	Fragmento fundición	Metalografía
TG-14	Fragmento escultura	Cámara climática Cámara niebla salina

Tabla 1. Descripción de las muestras analizadas

Table 1. Description of the analyzed samples

También se observó la sección transversal de las muestras que posteriormente se analizaron mediante microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (MEBEC) (TG-4, TG-9, TG-10 y TG-12). De este modo se pudo constatar la superposición de costras de corrosión y pintura. Las últimas están desprendidas en varias zonas de la superficie del material metálico y asimismo se alternan con costras de corrosión.

El estudio metalográfico del cuerpo de la fundición de hierro de la muestra TG-13 (microscopio metalográfico Olympus PME3) ha permitido conocer la estructura cristalina de la fundición y obtener una aproximación a su calidad como aleación, a su estado de conservación interno y a datos relacionados con su tecnología de producción. Se trata de una fundición gris (Forma I) donde se observa grafito laminar de distribución A con un tamaño de láminas equivalente a los índices 6/7 de la norma UNE-EN ISO 945. La microestructura de la matriz metálica es ferrita perlita. Además, también se detecta la presencia de esteadita, fosfuro de hierro (Fe_3P) en forma de red en el núcleo de la fundición, lo que indica un elevado contenido de fósforo en su composición (figura 1).

Los análisis mediante difracción de rayos X (DRX) (difractómetro PANalytical X'Pert MPD) de las muestras TG-2, TG-3, TG-4 y TG-10 han identificado las fases cristalinas presentes en las costras de corrosión. Los difractogramas demuestran que las fases de las muestras procedentes de diferentes zonas de la fuente son similares. Por tanto, la orientación de los elementos ornamentales no ha sido determinante en el proceso de degradación del cuerpo metálico.

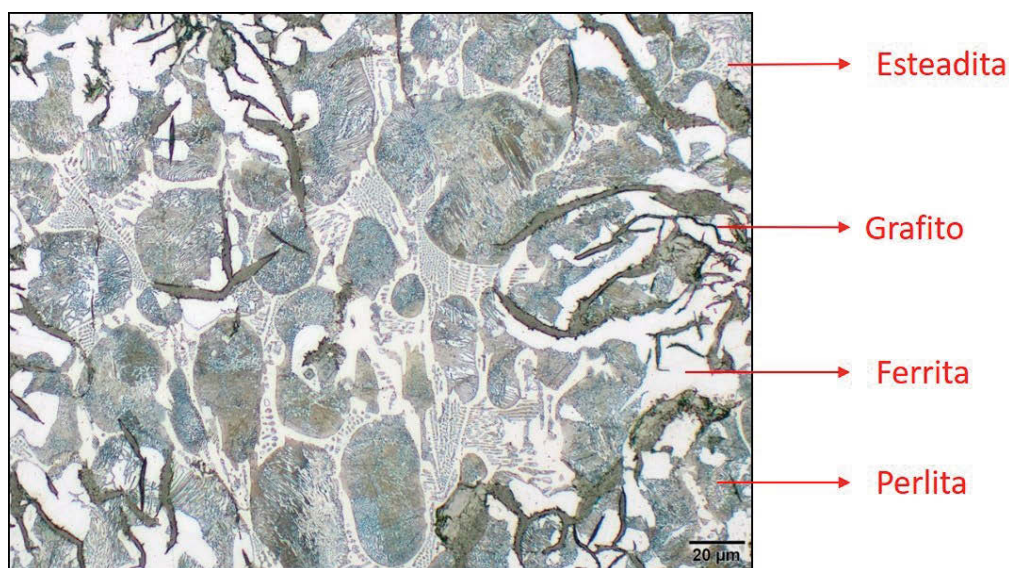


Figura 1. Microestructura de la matriz metálica

Figure 1. Microstructure of the metal matrix

Se han identificado óxidos de hierro de tipo maghemita (Fe_2O_3) y oxohidróxidos de hierro de tipo goethita [$\alpha\text{-FeO(OH)}$] y akaganeíta [$\beta\text{-FeO(OH)}$], y en la muestra TG-2 pequeñas cantidades de lepidocrocita [$\gamma\text{-FeO(OH)}$]. La maghemita y la goethita son el resultado de la oxidación del hierro en todos los ambientes, independientemente del clima. Por el contrario, la akaganeíta es un producto de corrosión típico de la alteración del acero en entornos de elevada salinidad. Para su formación es necesaria una humedad relativa elevada y una alta concentración de iones cloruro (Cl^-) en el ambiente (valores de deposición de más de 60 mg/m^2 por día). Esta última condición se da en zonas situadas hasta a 2 km de distancia de la costa. De este modo, y de acuerdo a la media anual de humedad relativa en la ciudad de Málaga, la presencia de dicha fase se atribuye a las características del entorno ambiental de la glorieta del General Torrijos (Morcillo *et alii*, 2015). La lepidocrocita es la primera fase de corrosión que aparece en aceros de bajo contenido en carbono. Sin embargo, a medida que aumenta el tiempo de exposición a agentes atmosféricos, se va transformando en goethita, termodinámicamente más estable, o en akaganeíta si la corrosión prospera en entornos de elevada salinidad. Esto significa que la muestra TG-2 presenta un estado de alteración menos avanzado que el resto. Las cantidades relativas detectadas de maghemita, akaganeíta y goethita indican cualitativa y respectivamente que los óxidos son los más abundantes, seguidos por la fase clorada y los hidróxidos, secuencia que determina un proceso de corrosión muy intenso.

Las observaciones por microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (MEBEC) (equipo Hitachi S-4800 de cátodo frío) han permitido caracterizar las capas superficiales de corrosión y de pintura, así como estudiar la microestructura de la aleación. Por otro lado, el sistema de microanálisis EDS acoplado al microscopio sirvió para determinar la composición química local de las costras de corrosión, de las capas de pintura y de los microcristales de la estructura metálica.

En el estudio en superficie de las costras de corrosión se ha identificado una superficie heterogénea en la que se distinguen zonas con diferente composición y textura (figura 2 a). Mediante microanálisis EDS se han interpretado estas irregularidades como depósitos de sales insolubles debido al alto contenido de calcio, productos de alteración en ambiente marino y contaminado por la presencia de cloro, sodio, bromo, potasio y azufre respectivamente; así como parte de la matriz metálica con un grado avanzado de corrosión de acuerdo a la relación de hierro y oxígeno.

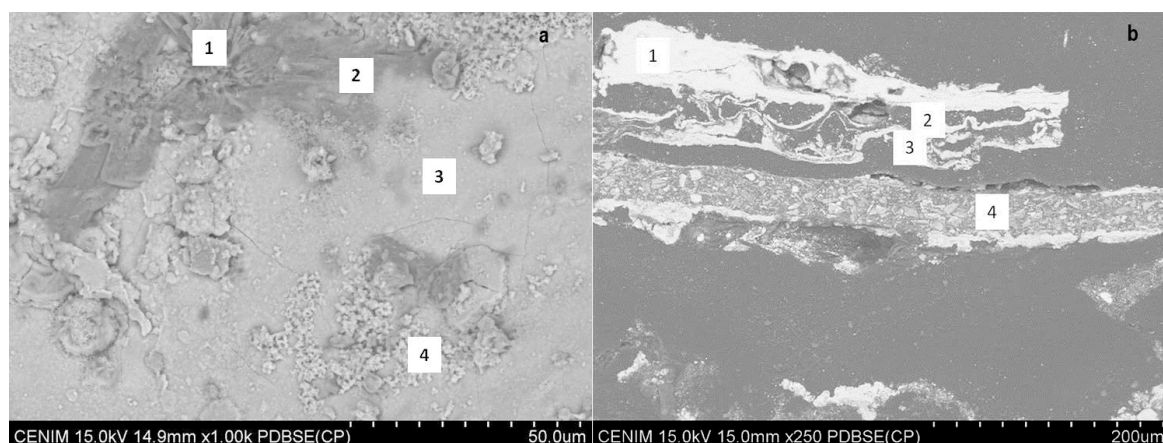


Figura 2. a. Micrografía de electrones retrodispersados de la superficie de la muestra TG-3. Numéricamente se indican las zonas: 1 y 2 sales insolubles, productos de corrosión en ambiente marino y contaminado, 3 cuerpo metálico en proceso de corrosión y sales marinas, 4 óxido de hierro. b. Micrografía de electrones retrodispersados de la sección transversal de la muestra TG-9. Numéricamente se indican los estratos: 1 corrosión del cuerpo metálico y sales marinas, 2 sales marinas y polvo, 3 cuerpo metálico en proceso de corrosión y contaminación, 4 capa de imprimación

Figure 2. a. Backscattered electrons micrograph from the surface of sample TG-3. Zones numerically indicated: 1 and 2 insoluble salts, corrosion products in marine and polluted environment, 3 metallic body in the process of corrosion and marine salts, 4 iron oxide. b. Backscattered electrons micrograph from the cross-section of sample TG-9. Layers numerically indicated: 1 metallic body corrosion and marine salts, 2 marine salts and dust, 3 metallic body in the process of corrosion and contamination, 4 primer coating

En la sección transversal de las muestras de corrosión se observa el cuerpo metálico bordeado en su parte superior por la corrosión que aparece como una capa más oscura. En la muestra TG-10 se detectó una microestructura variada con un fondo homogéneo formado por dos texturas interpenetradas y unas formas cristalinas. Los microanálisis EDS de esta zona se interpretan como característicos del cuerpo de la aleación de hierro ya que los elementos detectados, tanto en naturaleza como en proporción, son compatibles con los resultados de metalografía obtenidos.

La caracterización de las muestras que presentan corrosión y pintura ha permitido interpretar la estratificación de estas capas (de la Fuente *et alii*, 2003). Gracias a las microfotografías generadas por electrones retrodispersados y a los análisis EDS se han identificado productos de corrosión del cuerpo metálico en ambiente marino (cloro, sodio, bromo y potasio) y contaminado (azufre), depósitos de suciedad (silicio) y capas de pintura e imprimación (figura 2 b). Estas últimas se diferencian tanto por su morfología como por su composición elemental. Por un lado, la primera, de aspecto más homogéneo, tiene un alto contenido en calcio ($\approx 33\%$) y oxígeno ($\approx 62\%$) cuya relación se atribuye a la presencia de calcita (CaCO_3), material habitual en la composición de pinturas a modo de carga. Por otro lado, la capa de imprimación está formada por un estrato heterogéneo donde se observa una gran variedad de granos y/o microcristales de distinto tamaño y forma. En su composición se han identificado elementos como magnesio, aluminio, silicio y manganeso, principalmente.

Finalmente, se realizaron dos ensayos de envejecimiento acelerado en un fragmento desprendido del grupo escultórico (TG-14) con el fin de probar diferentes métodos de protección del cuerpo metálico. El primero consistió en un ensayo en cámara climática (Dycometal CCK-81) en el que la pieza se sometió a ciclos donde se mantuvo constante la humedad relativa (60 %) y se varió la temperatura (10-50 °C). El segundo se trató de un ensayo en cámara de niebla salina (Ascott CC1000 xp) y según la Norma ISO 9227-2017, con el objetivo de simular unas condiciones similares a las que va a estar expuesta la fuente.

Los tipos de protección estudiados son los siguientes: 1) ácido tánico diluido en agua seguido de dos capas de *Owatrol oil* con pigmento verde para proporcionar la cromía con la que hoy se identifica a la fuente y por último dos capas de *Incral 44* con la misma pigmentación. 2) dos capas de *Owatrol*

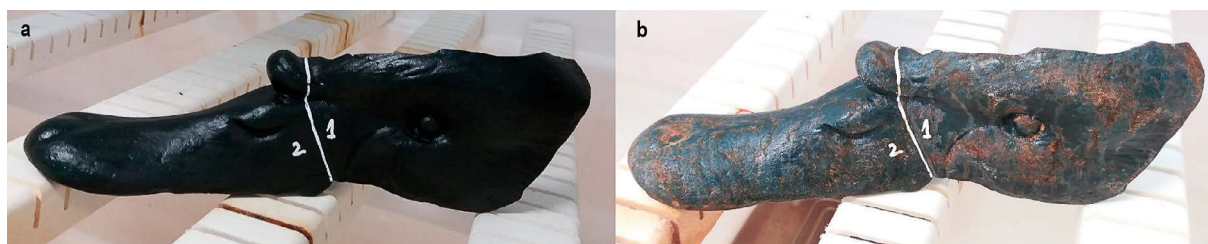


Figura 3. a. Estado de la muestra TG-14 antes del ensayo de envejecimiento en cámara de niebla salina. b. Estado de la misma muestra tras finalizar dicho estudio

Figure 3. a. State of the TG-14 sample before the aging test inside the spray salt chamber. b. State of the TG-14 sample after the aging test

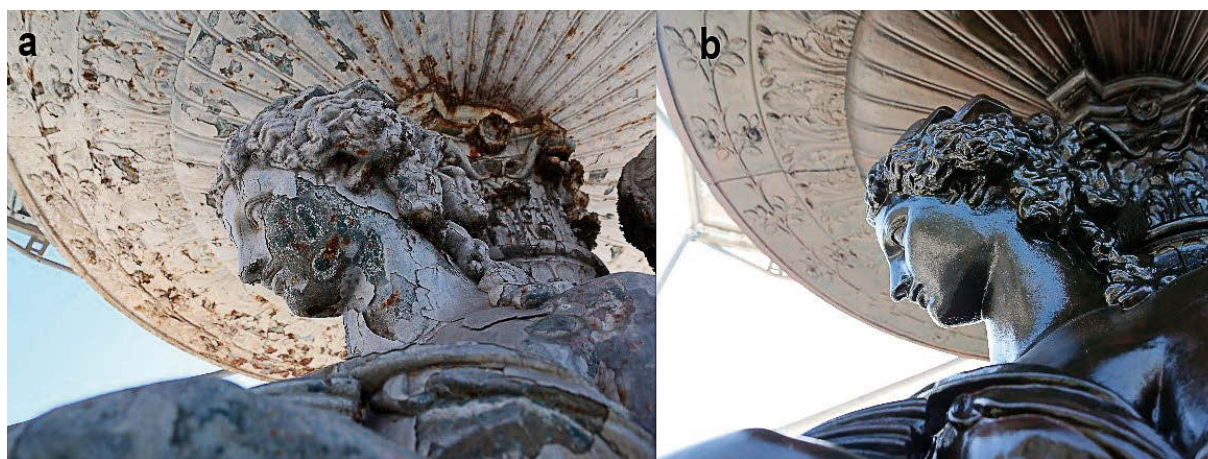


Figura 4. a. Estado de la fuente previo a la intervención de la empresa CHAPITEL. b. Resultado de la restauración realizada por dicha empresa

Figure 4. a. State of the fountain before the intervention of the company CHAPITEL. b. Outcome of the restoration made by the company

oil y dos capas de *Incral 44*, ambos productos pigmentados en verde. Previo a la aplicación de los dos sistemas de protección se eliminaron por microproyección las costras de corrosión del cuerpo metálico y todos los restos de las capas de pintura anterior.

Tras el primer ensayo de envejecimiento acelerado, que tuvo una duración de dos meses, no se apreció ningún signo de alteración. Sin embargo, a la hora de manipular la muestra se desprendió un pequeño fragmento de la parte interna. Esto podría indicar que debido a la marcada irregularidad de la superficie se ha producido un defecto en la aplicación de los productos de protección, iniciándose así la corrosión del metal al abrigo de los agentes atmosféricos, lo que acelera su desarrollo.

Antes de proceder al siguiente ensayo de envejecimiento acelerado con niebla salina, la zona en la que se desprendió el fragmento se protegió con una laca protectora (Red Stopping off Lacquer de MacDermid). Pasadas 24 h de ensayo, la muestra presentó signos de alteración en ambas partes. Después de 48 h, y dando por finalizado el estudio, la corrosión avanzó considerablemente sin observarse diferencias apreciables entre la degradación experimentada por la zona 1 y la zona 2 (figura 3 a y b). Esto parece indicar que la capa previa de ácido tánico no es relevante a la hora de proteger el material de fundición, si bien tampoco es perjudicial.

A la hora de interpretar los resultados hay que tener en cuenta que el segundo ensayo se realizó en condiciones muy agresivas, ya que se utilizó para conocer el comportamiento de materiales cubiertos por gruesas capas protectoras y expuestos a condiciones de salinidad extremas. En la figura 4 se muestra el aspecto de un detalle del grupo escultórico antes y después de la intervención.

3. Conclusiones

La caracterización y estudio arqueométrico de un conjunto de materiales de la fuente de las Tres Gracias de Málaga ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

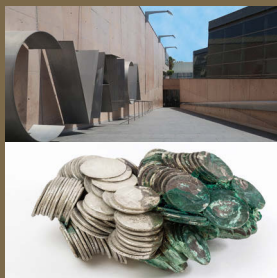
- El material metálico que constituye la fuente es una fundición gris con un alto contenido en fósforo.
- La alteración del cuerpo metálico se ha producido debido a las condiciones ambientales del espacio en el que se encuentra expuesta la fuente. Este proceso se ha visto intensificado por la superposición de capas de pintura e imprimación aplicadas en intervenciones anteriores.
- La correcta conservación y restauración del grupo escultórico de la fuente hace necesaria, en primer lugar, la completa eliminación de todos los productos de corrosión del cuerpo metálico y de todos aquellos recubrimientos que este presenta. En segundo lugar, para proceder a la protección del metal se han de aplicar de forma homogénea y en capas muy finas recubrimientos que garanticen por completo la cubrición de la superficie. Finalmente, dado que el principal factor de alteración del conjunto ornamental se debe a su localización, y que por tanto no se puede suprimir, se ha de llevar a cabo un plan de conservación preventiva donde se incluya la monitorización de las condiciones ambientales del espacio y la revisión y el mantenimiento periódico de la fuente.

Agradecimientos

Los autores muestran su agradecimiento al programa TOP Heritage (P2018/NMT-4372) de la Comunidad de Madrid, al proyecto HERICARE (PID2019-104220RB-I00) del Ministerio de Ciencia e Innovación, a la Plataforma Temática Interdisciplinar del CSIC Patrimonio Abierto: Investigación y Sociedad (PTI-PAIS) y a la Red TechnoHeritage de Ciencia y Tecnología para la Conservación del Patrimonio Cultural. D.M.M. agradece un contrato al programa TOP Heritage.

Bibliografía

- Carranza, F., Heredia, V.M. y Águila I.G. (2007): *Fuentes de Málaga*. EMASA. Málaga.
- Fuente, D. de la, Simancas, J. y Morcillo, M. (2003): "Effect of variable amounts of rust at the steel/paint interface on the behaviour of anticorrosive paint systems". *Progress in Organic Coatings*, 46 (4): 241-249. <[https://doi.org/10.1016/S0300-9440\(02\)00194-7](https://doi.org/10.1016/S0300-9440(02)00194-7)>.
- Morcillo, M., Alcántara, J., Díaz, I., Chico, B., Simancas, J. y de la Fuente, D. (2015): "Marine atmospheric corrosion of carbon steels". *Revista de Metalurgia Madrid*, 51 (2): e045. <doi: <http://dx.doi.org/10.3989/revmetalm.045>>.
- Villegas, M.A., Agua, F., Conde, J.F., García-Heras, M., López, V. y Contreras, J. (2013): "Estudio sobre la conservación de los materiales metálicos de la fachada principal de la estación de Atocha (Madrid)". En S. Díaz y E. García (eds.): *IV Congreso Latinoamericano de Conservación y Restauración de Metal*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Madrid: 292-305.



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).