

MetalEspaña 2020/2021

III Congreso de Conservación y Restauración del Patrimonio Metálico

Joaquín Barrio Martín
Milagros Buendía Ortuño (eds.)

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



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CULTURA
Y DEPORTE

ARQVA

Museo Nacional
de Arqueología Subacuática



MUSEO
CASA DE LA MONEDA

UAM Universidad Autónoma
de Madrid

Anejos nº 6 | 2022

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

Cuadernos
de Prehistoria
y Arqueología
de la Universidad Autónoma de Madrid

MetalEspaña 2020/2021

III Congreso de Conservación y Restauración del Patrimonio Metálico

Joaquín Barrio Martín
Milagros Buendía Ortuño
(eds.)



Universidad Autónoma
de Madrid

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

Índice

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

Aportación de la técnica FIB-FESEM-EDX al estudio del patrimonio en metal	71
Contribution of FIB-FESEM-EDX technique to the study of Metal Heritage	
CARLA ÁLVAREZ ROMERO, CAROLINA MAI CEROVAZ, MARÍA TERESA DOMÉNECH-CARBÓ, ANTONIO DOMÉNECH-CARBÓ, MILAGROS BUENDÍA ORTUÑO Y TRINIDAD PASÍES OVIEDO	
Nueva metodología para la eliminación de la corrosión en patrimonio metálico arqueológico: buffers, quelantes, geles y emulsiones	81
New methodology for the elimination of corrosion in archaeological metal heritage: buffers, chelators, gels and emulsions	
SILVIA MARÍN ORTEGA	
Medida directa de potenciales de circuito abierto como técnica no invasiva de evaluación del grado de corrosión de objetos arqueológicos	87
Direct measurement of open circuit potentials as a non-invasive technique for evaluating the degree of corrosion of archaeological objects	
MARÍA AMPARO PEIRÓ RONDA Y ANTONIO DOMÉNECH-CARBÓ	
Restauración virtual y recreación de uno de los jarros de bronce de la estancia del banquete (S-1) del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz), los medios digitales como continuidad de la restauración física	97
Virtual restoration and recreation of one of the bronze jugs from the banquet room (S-1) from the Casas del Turuñuelo site (Guareña, Badajoz), digital media as continuity of the physical restoration	
BÁRBARA MARTÍN GÓMEZ, ESTHER RODRÍGUEZ GONZÁLEZ Y SEBASTIÁN CELESTINO	
Estudio arqueológico y restauración de espuelas bajomedievales de Asturias	107
Archaeological study and restoration of late medieval spurs in Asturias	
SILVIA PÉREZ-DIEZ, BEATRIZ GARCÍA-ALONSO, LUIS J. FERNÁNDEZ-MENÉNDEZ, LARA LOBO, NEREA BORDEL, MAITE MAGUREGUI, NOELIA FERNÁNDEZ-CALDERÓN Y ALEJANDRO GARCÍA ÁLVAREZ-BUSTO	
Sesión II. MONEDAS Y PATRIMONIO NUMISMÁTICO: ESTUDIOS, PROYECTOS, RESTAURACIONES Y MUSEOS	
El Museo Casa de la Moneda. La colección de moneda islámica	117
The Museo Casa de la Moneda. The Islamic Coin Collection	
ALBERTO J. CANTO GARCÍA	
Composición y características de la acuñación de dos cecas hispanorromanas: análisis aplicados a las monedas de <i>Caesar Augusta</i> (Zaragoza) y <i>Emerita Augusta</i> (Mérida)	129
Composition and characteristics of the coinage of two Hispano-Roman mints: analysis applied to the coins of <i>Caesar Augusta</i> (Zaragoza) and <i>Emerita Augusta</i> (Merida)	
CRUCES BLÁZQUEZ CERRATO, MARTA GÓMEZ BARREIRO, JOSÉ MANUEL COMPAÑA PRIETO, JUAN GÓMEZ BARREIRO, CARMELO FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, RUFO MARTÍN MATEO E INÉS PUENTE ORENCH	

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

SESIÓN III. PATRIMONIO METÁLICO ARQUEOLÓGICO

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

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

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

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

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

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

LAURA GARCÍA BOULLOSA

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

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

IZASKUN MARTÍNEZ PERIS

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

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

ANNA BERTRAL ARIAS, ESTHER GURRI COSTA Y SANTIAGO RIERA MORA

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

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

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

SESIÓN IV. PATRIMONIO METÁLICO HISTÓRICO, ARTÍSTICO Y RELIGIOSO

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

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

ANAHÍ MEYER RIERA Y JAIME FERREIRA REGALADO

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

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

JANNEN CONTRERAS VARGAS

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

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

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

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

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

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

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

ANDREIA ROMÃO

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

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

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

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

ELISA FERNÁNDEZ TUDELA, LUIS CARLOS ZAMBRANO VALDIVIA Y MANUEL BETHENCOURT

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

MANUEL JESÚS GRUESO JIMÉNEZ Y LUIS CARLOS ZAMBRANO VALDIVIA

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

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

Departamento de Pintura
Facultad de Bellas Artes
Universidad del País Vasco
juan.bermejo@ehu.eus
<https://orcid.org/0000-0001-6124-9131>

ÍÑIGO GONZÁLEZ-GONZÁLEZ

Departamento de Pintura
Facultad de Bellas Artes
Universidad del País Vasco
inigon30@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7793-5216>

ESTÍBALIZ LAMA OCHOA

Departamento de Pintura
Facultad de Bellas Artes
Universidad del País Vasco
estibaliz.lama@ehu.eus
<https://orcid.org/0000-0001-6999-8057>

NAGORE PRIETO-TABOADA

Departamento de Química Aplicada
Facultad de Química
Universidad del País Vasco
nagore.prieto@ehu.eus
<https://orcid.org/0000-0003-4649-2381>

M^a DOLORES RODRÍGUEZ LASO

Departamento de Pintura
Facultad de Bellas Artes
Universidad del País Vasco
inigon30@gmail.com
mariadolores.rodriguez@ehu.eus
0000-0001-7916-3010

Resumen

El siglo XIX, con la aparición del hormigón moderno y su combinación con estructuras metálicas, produjo una revolución arquitectónica. Desde una base teórica la combinación de morteros y hormigones de cemento Portland con elementos de hierro y acero generaban una simbiosis perfecta. El hormigón aportaba la resistencia a la compresión, y la armadura metálica permitía soportar esfuerzos de flexión, con lo que se conseguía crear estructuras imposibles hasta el momento. Los primeros estudios, además, afirmaban que la elevada alcalinidad del cemento protegía la armadura metálica lo que proporcionaba un material casi imperecedero.

El tiempo demostró que los entornos contaminados y el proceso de carbonatación del propio hormigón terminaban desprotegiendo las mencionadas armaduras, lo que daba lugar a la aparición de procesos de oxidación, expansión de los elementos metálicos y, en algunos casos, la completa destrucción de las piezas.

Fue Joseph Monier el primero en utilizarlo a gran escala. Sus trabajos se basaron en la aplicación manual de varias capas de morteros sobre estructuras metálicas previamente preparadas, cuyas iconografías contaban con motivos vegetales. El grado de experimentalidad de este sistema tenía un gran potencial expresivo, pero produjo muchos problemas en su conservación y restauración.

En este trabajo se aborda la restauración realizada en ocho maceteros tipo Monier, datados a comienzos del siglo XX, y ubicados en el conjunto arquitectónico Galerías Punta Begoña (Getxo) para lo que se siguió el siguiente orden: 1) localización de los elementos conservados; 2) proceso de extracción de los elementos originales; 3) evaluación de las piezas dañadas; 4) limpieza de los elementos; 5) tratamiento de las partes metálicas en las zonas que se consideró necesario; 6) montaje de las piezas conservadas; 7) reconstrucciones volumétricas de las zonas faltantes y, finalmente, 8) refuerzo de la estructura en los puntos que se consideró conveniente.

Palabras clave: mortero, hormigón, armadura, oxidación, conservación

Abstract

The 19th century, with the appearance of modern concrete and its combination with metallic structures, produced an architectural revolution. From a theoretical base, the combination of Portland cement mortars and concretes with elements of iron and steel generated a perfect symbiosis. The concrete provided resistance to the compression, and the metallic reinforcement helped holding the bending forces, being able to create structures that were impossible up to then. The first studies, in addition, affirmed that the high alkalinity of the cement protected the metallic armor making it an almost imperishable material. Time showed that the contaminated environments and the carbonation process of the concrete itself ended up unprotecting the reinforcements, which led to the appearance of oxidation processes, expansion of the metallic elements and, in some cases, the complete destruction of the pieces.

Joseph Monier was the first to use it on a large scale. His works were based on the manual application of several layers of mortars on previously prepared metal structures, whose iconographies had plant motifs. The degree of experimentality of this system had great expressive potential, but produced many problems when it comes to its conservation and restoration.

This work deals with the restoration carried out in eight Monier-type planters, dated in the 1920s, and located in the architectural complex Galerías Punta Begoña (Getxo). To do so, this order was followed: 1) location of the elements preserved; 2) the extraction process of the original elements; 3) evaluation of the damaged pieces; 4) cleaning of the elements; 5) intervention of the metal parts; 6) assembly of the conserved parts; 7) volumetric reconstructions of the missing areas and; 8) reinforcement of the structure where necessary.

Key words: mortar, concrete, reinforcement, oxidation, conservation

1. Introducción

Los cambios tecnológicos y sociales derivados de la revolución industrial, así como la aparición del cemento Portland, provocaron una revolución en la arquitectura y las aplicaciones que hasta entonces se les había dado a morteros y hormigones.

La familia Aspidin patentó el que sería el primer cemento moderno, Cemento Portland (1824). A lo largo del transcurso del siglo XIX, se produjo un gran desarrollo en las técnicas constructivas que incluían este nuevo material. Los primeros trabajos conocidos que combinaban el cemento artificial con elementos metálicos son los presentados por Joseph Lambot en la exposición Industrial de París en 1849 (Simonnet, 2009; Burgos, 2009). Sin embargo, serían los trabajos de Monier los primeros en ser llevados a escala industrial, siendo considerado por algunos el padre del hormigón armado.

Joseph Monier (1823-1906) era hijo de una familia de jardineros que trabajaba para el duque de Uzès. Desde muy joven ya demostró gran habilidad con las plantas, y a través del duque comenzó a asesorar a otros miembros de la clase alta. Con 23 años fue nombrado responsable del invernadero de los jardines de las Tullerías en París, donde comenzó a experimentar mediante la combinación de morteros con alambres metálicos para la realización de maceteros de gran tamaño. En 1867 presentó su primera patente en la que se describía un método de fabricación de equipos para horticultura a partir de elementos cilíndricos de hierro y cemento (Bosc, 2001).

La importancia de esta primera patente radica en que, en las siguientes décadas, Monier fue creando nuevas aplicaciones de este sistema a depósitos de agua, puentes, tuberías y finalmente a edificios completos (Simonnet 2009, Burgos 2009).

Aunque fueron apareciendo otros sistemas para la construcción en hormigón armado, el sistema Monier, junto al de Hennebique, tuvieron una importancia central hasta comienzos del siglo XX que, con el inicio de los estudios de cálculo y la estandarización, entraron en decadencia (Bermejo, 2021).

En el campo de la Conservación y Restauración de elementos decorativos en morteros y hormigones armados, los procesos de oxidación de las armaduras son algunos de los principales causantes de su destrucción. Suelen aparecer manchas y, en un estado avanzado, la ferralla se expande y provoca el reventado de las piezas. Todo ello constituye uno de los problemas más habituales y, a su vez, de los que más dificultades entrañan en su intervención.

2. El sistema Monier y sus procesos de degradación

El sistema Monier, en su origen, se basaba en colocar mallas de hierro con la forma del objeto a fabricar y, sobre este entramado metálico, se iban vertiendo sucesivas capas de morteros de cemento. Cuando se trataba de elementos decorativos, las últimas capas normalmente se modelaban imitando madera o motivos vegetales. Este acabado era denominado «faux bois» que se traduciría como «madera falsa» (Bosc, 2001).

Los trabajos de Monier tenían una gran potencia expresiva, pero eran realizados en base a recomendaciones exclusivamente empíricas, lo que restaba eficacia a las armaduras, ya que no siempre estaban dispuestas en consonancia con los esfuerzos que la estructura debía soportar (Valenzuela, 2015). Además, el sistema de fabricación dejaba normalmente la armadura muy próxima a la superficie, lo que facilitaba la entrada de los agentes de deterioro.

En origen, se consideraba el hormigón armado como un material eterno, basándose en la premisa de que su elevada alcalinidad protegería la armadura de acero de posibles problemas exteriores (Burgos, 2009). La industria del hormigón llegó a considerar que era un material completamente estable y libre de cualquier necesidad de revestimiento o cobertura protectora, así como un mantenimiento futuro (Odgers, 2018).

Además de esto, en muchas ocasiones, las obras se realizaban con un mortero muy poroso y/o de poco espesor (factores intrínsecos) lo que permitía la entrada de agentes externos con el consiguiente comienzo de los procesos de degradación del acero. Por otro lado, determinados entornos, con alto grado de humedad, ambientes contaminados de naturaleza ácida, o con presencia de sales (agentes extrínsecos), también han podido generar serios problemas en los tipos de materiales que nos ocupan (Cobo, 2001; Broto, 2015).

De esta combinación, hierro-cemento, el elemento más sensible a los agentes de deterioro es el hierro, pero es protegido del exterior por el hormigón. Esta protección, por un lado, es a nivel físico, a mayor espesor del hormigón y menor porosidad, más difícil será para los agentes de deterioro entrar en contacto con el metal. Por otro lado, la alta alcalinidad de los morteros de cemento, pH entre 12,5 y 13,5, genera un proceso electroquímico que modifica la superficie del metal, dando lugar a una capa protectora de unos 10 nm, que pasiva el material, lo que significa que deja de reaccionar con el medio y se bloquean los procesos de degradación (Cobo, 2001).

Los dos procesos de deterioro más comunes y peligrosos para los elementos metálicos en el interior de los morteros son la carbonatación y la presencia de determinados iones. Dichos procesos anulan la protección generada por el cemento ocasionando la degradación de la armadura interna (Odgers, 2018). Una localización inadecuada de las armaduras también puede producir graves problemas. Cuanto más cerca se encuentren estas de la superficie, más facilidad va a tener la carbonatación y los agentes de deterioro para llegar a la armadura, además de menos capacidad para el hormigón de aguantar los esfuerzos producidos por la expansión de las armaduras.

La carbonatación es el proceso por el cual la alcalinidad de los hormigones o morteros de cemento se reduce ($\text{pH} > 10$) permitiendo la aparición de los procesos de degradación de los elementos metálicos (Broto, 2015). El cemento Portland tiene una elevada alcalinidad por la presencia de hidróxidos

de calcio, sodio y potasio [$\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH y KOH]. El problema radica en que estos elementos interaccionan con el CO_2 ambiental, en una reacción de neutralización, transformándose en carbonatos y, por ende, disminuyendo el pH (Odgers, 2018). Este proceso ocurre primero en la superficie de las piezas y va penetrando hacia el interior. En el momento que alcanza a las armaduras, la pasivación desaparece y comienzan los procesos de oxidación. La norma UNE-UN 112011 describe cómo conocer el estado de carbonatación de una pieza, así como el calcular a qué velocidad avanza este proceso.

La presencia de iones despasivantes, especialmente cloruros, acelera gravemente los procesos de degradación de los metales. Estos pueden tener su origen en el propio proceso de fabricación (áridos mal lavados, uso de agua de mar o inclusión como aditivo) así como de fuentes ambientales. Los cloruros rompen la capa protectora que los álcalis forman sobre el metal, actuando como catalizadores de los procesos de oxidación (Odgers, 2018).

Los procesos de corrosión del hormigón originan una reacción electroquímica, en la que distintos iones utilizan el agua presente en los poros y la propia armadura para moverse. La superficie de dicha armadura, cuando esta no se encuentra pasivada, tiene zonas que actúan como ánodo y, otras, como cátodo. En las zonas ánodo, la superficie de metal (Fe) se disuelve formando cationes de hierro (Fe^{+2}) en el agua de los poros y, a su vez, carga negativamente las zonas del cátodo. Los cationes de hierro (Fe^{+2}) se combinan con los grupos OH^- lo que genera hidróxido de hierro II y III [$\text{Fe}(\text{OH})_2$ y $\text{Fe}(\text{OH})_3$]. Estos productos se combinan con la propia matriz metálica y el oxígeno para producir óxido de hierro en la región del ánodo (Odgers, 2018).

3. Elementos tipo Monier en las Galerías Punta Begoña

En este trabajo se recoge el proceso de restauración llevado a cabo en una de las jardineras tipo Monier presentes en las Galerías Punta Begoña, como primer paso para abordar la recuperación del gran número de elementos decorativos en morteros y hormigón armado presentes en este conjunto.

Las Galerías Punta Begoña son un importante conjunto arquitectónico situado en el municipio de Getxo (País Vasco). Se empezaron a construir en 1918 bajo la dirección de Ricardo Bastida. En su edificación se aplicaron los últimos avances técnicos, siendo el primer edificio residencial de Bizkaia construido en hormigón armado. Este material, a base de cemento Portland, aportaba resistencia a la compresión y la armadura metálica permitía soportar esfuerzos de flexión, pudiendo crearse estructuras imposibles hasta el momento. Este lugar está íntimamente relacionado con la historia del hormigón armado, además de por su estructura y muchos de sus elementos decorativos, porque el dueño y promotor de esta construcción fue Horacio Echevarrieta, un innovador empresario bilbaíno que, entre otros negocios, poseía los derechos de explotación para España de Cementos Portland.

Punta Begoña es una edificación al borde del mar (bahía de El Abra), cuyo diseño cuenta con dos grandes galerías, en forma de ángulo aproximadamente de 90° , con jardines en la parte superior. Una de las galerías mira a mar abierto con una dirección noroeste (NW), en forma de «S» y una longitud de unos 100 metros. Al final de esta, encontramos una gran estancia y un par de espacios que sirven de servicio a la misma. La otra galería, con una orientación suroeste (SW), está formada por un tramo curvo y dos tramos rectos que suman unos 90 metros (Bermejo, 2021). Los elementos tipo Monier conservados actualmente se encuentran en la terraza superior de la galería SW.

Estas piezas en Punta Begoña forman un conjunto de 11 jardineras, las cuales cuentan con una decoración tipo «faux bois» e imitan la apariencia de tocones de árboles. Todos ellos son distintos debido a su elaboración manual. Sus dimensiones se comprenden entre 30-60 cm de alto por 30-50 cm de diámetro (figura 1).

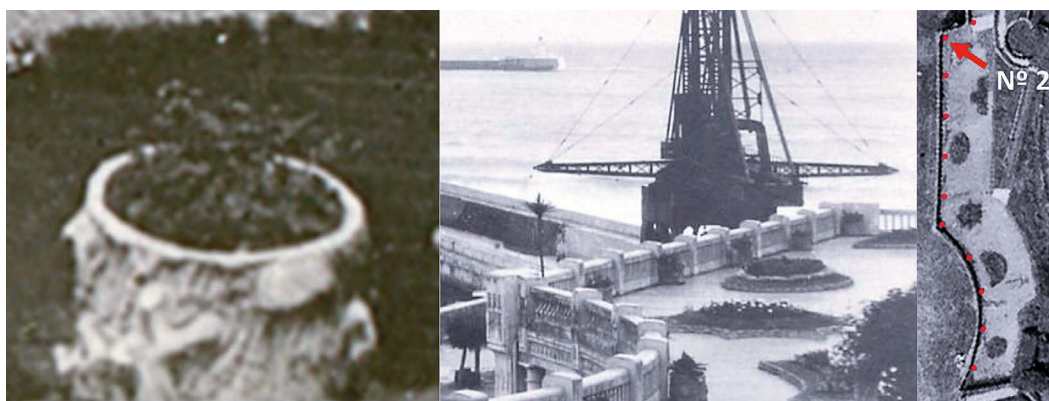


Figura 1. Detalle de uno de los maceteros (AHFB- Archivo Histórico Foral de Bizkaia), vista general del conjunto (Biblioteca de Getxo) y posición de las distintas jardineras

Figure 1. Detail of one of the flowerpots (AHFB- Archivo Histórico Foral de Bizkaia), general view of the set (Getxo Library) and position of the different planters

Entre los maceteros, se ha seleccionado para su intervención el catalogado como Nº 2 por encontrarse solo parcialmente enterrado y haberse conservado en más de un 70 %. Una vez extraído, se pudo observar que una de las mitades se encontraba en una sola pieza, y en el entorno, había otros 11 fragmentos dispersos correspondientes al mismo macetero. Además de las pérdidas y las fracturas, resultaba llamativa la proximidad de la estructura metálica a la superficie en algunos puntos. También se puede apreciar la exfoliación de algunos de los estratos que componen el citado macetero con desprendimientos puntuales en las diferentes capas de aplicación (figura 2).

4. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar una metodología de restauración que permita restaurar los elementos decorativos tipo Monier en las Galerías Punta Begoña, atendiendo especialmente al proceso de degradación de las armaduras, ya que este es el principal causante del deterioro de estas piezas.

5. Metodología

Se realizó el estudio detallado de la zona superior de la galería SW, para localizar los espacios en que se encontraban los restos de cada macetero, dado que todos se hallaban total o parcialmente enterrados. Después se seleccionó el mejor conservado (Nº 2), como ensayo para decidir el tratamiento a aplicar a todos los demás.

El siguiente paso fue la retirada de la tierra con cuidado, a fin de extraer los diferentes fragmentos. Posteriormente, ya en el taller, se realizó una limpieza superficial con brochas y se procedió a la desalación por inmersión del conjunto. Una vez reducidas las sales a un nivel aceptable, la conductividad del agua o un valor estable, se introdujeron las piezas 24h en una disolución de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) al 0,1 % en agua con el fin de realcalinizar las partes del macetero para detener los procesos de degradación de la armadura. Tras diferentes ensayos, se seleccionó esta concentración puesto que demostró ser la que mayor grado de alcalinidad alcanzaba respecto a la cantidad de sal introducida.

Para medir el pH y la concentración de sales se usaron el medidor de pH LAQUAtwin pH-11 y el conductímetro LAQUAtwin EC-11, de la casa comercial Horiba. Antes de su empleo, se realizó un calibrado simple de un punto con una solución estándar de pH 7 y una de 1,41 mS/cm respectivamente.



Figura 2. Macetero N° 2 previo a su intervención y detalle de las armaduras. 2021

Figure 2. Planter no. 2 before its intervention and detail of the reinforcements. 2021

A continuación, se fueron ubicando todos los restos en su posición original y se encolaron con la ayuda del adhesivo EPO 121, de la casa comercial CTS (Bermejo, 2021). Las zonas faltantes se reintegraron con «Mortero de reparación estructural Plus» de la casa comercial Axton, dado que se trata de un producto específicamente formulado para la reintegración volumétrica de elementos de cemento Portland y cuenta con aditivos específicos para fomentar el repasivado de las armaduras.

Toda la parte interior de la pieza se reforzó con trozos de una malla cuatriaxial de fibra de vidrio a la que se le aplicó mortero.

6. Resultados

Los resultados obtenidos han demostrado que:

La desalación de las piezas se ha podido realizar sin incidentes, en cambio el baño de repasivado produjo una precipitación blanquecina en la parte superior de las piezas, que requirió un cepillado mecánico tras el secado.

En la reintegración volumétrica de los faltantes fue necesario introducir una varilla de fibra de vidrio de 5 mm de diámetro para sustentar la masa y mantener la forma curva.

No se consideró necesaria la reintegración cromática, ya que el mortero utilizado para la reintegración, una vez seco, adquiere un tono similar al original (figura 3).

Para evitar que las plantas y sus raíces generaran deterioros, se colocó otro macetero en su interior, y se cubrió la unión con corteza de pino.



Figura 3. Proceso de encolado, refuerzo y reintegración volumétrica. 2021

Figure 3. Gluing, reinforcement and volumetric reintegration process. 2021

7. Conclusiones

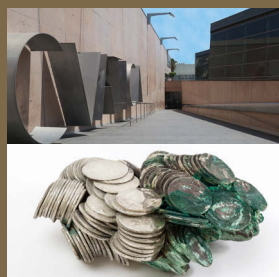
Todas estas actuaciones han permitido frenar los procesos de degradación, así como devolver el aspecto y uso original a la pieza.

El control de los procesos de degradación de las armaduras es especialmente importante en los elementos de tipo Monier. Lo cual es imprescindible para su conservación ya que, a través de todo lo expuesto, son muy sensibles a los problemas de corrosión, llegando en muchas ocasiones a la destrucción completa de la pieza.

La investigación y avance en los sistemas de realcalinización puede llevarnos en un futuro a la mejor conservación de este tipo de piezas. La adecuada monitorización permitiría la reinstalación de estos materiales en sus ubicaciones de origen, que de otra manera serían excesivamente agresivas para la supervivencia de las piezas.

Bibliografía

- Asociación Española de Normalización y Certificación (2010): *Corrosión en armaduras. Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio. (UNE-UN 112011:2011)*.
- Bermejo, J. (2021): *Primeros prefabricados de mortero y hormigón: ejemplos de su degradación y conservación*. Tesis doctoral. Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea.
- Bosc, J.L. (2001): *Joseph Monier et la naissance du ciment armé*. Éditions du Linteau. Paris.
- Broto, C. (2005): *Enciclopedia Broto de patologías de la construcción*. Barcelona.
- Burgos, A. (2009): *Los orígenes del hormigón armado en España*. Ministerio de Fomento. Granada.
- Cobo, A. (2001): *Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado: causas y procedimientos de rehabilitación*. Escuela de la Edificación. Madrid.
- Odgers, D. (2018): *Practical Building Conservation: Concrete*. Routledge.
- Simonnet, C. (2009): *Hormigón. La historia de un material*. Ed. Nerea. San Sebastián.
- Valenzuela, A. (2015): "Las patentes de hormigón armado. Del gran negocio al gran desarrollo tecnológico. Los antecedentes del Movimiento moderno". *Rita*, 3: 134-145.



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).