

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

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

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

SARA MASTRAL-MOLINOS

Departamento de Pintura
Facultad de Bellas Artes
Universidad del País Vasco (UPV/EHU)
48940 Leioa (Bizkaia)
smastral001@ikasle.ehu.es

AINARA ZORNOZA-INDART

Departamento de Pintura
Facultad de Bellas Artes
Universidad del País Vasco (UPV/EHU).
48940 Leioa (Bizkaia)

LAURA GARCÍA

Arkeologi Museoa/Museo de Arqueología de Bizkaia
Calzadas de Mallona, 2. 48006 Bilbao

GIORGIO STUDER

Gordailua Centro de colecciones Patrimoniales de Gipúzcoa
Gupuzkoako Ondare Bildumen Zentroa
Auzolan Kalea, 4. 20303 Irún (Guipuzkoa)

Resumen

El patrimonio arqueológico sumergido proporciona información histórica y material a través de objetos albergados por más de un siglo en las profundidades de mares, ríos o marismas. Ante la escasez de objetos de hierro que se hallan, fundamentalmente a causa de los rápidos procesos de corrosión que sufre el material bajo la acción de las sales propias del medio subacuático, adquieren una gran relevancia los métodos de limpieza responsables de su durabilidad. La presente investigación se centra en el estudio de los diferentes métodos de limpieza comúnmente utilizados (métodos mecánicos, químicos y de reducción), así como las nuevas propuestas en desarrollo (láser o plasma de gases) determinando sus ventajas e inconvenientes. A su vez, se realiza una evaluación de los métodos actualmente más empleados a partir de intervenir sobre clavos de hierro procedentes del Pecio de Urbieta (Gernika siglo xv, Vizcaya; Arkeologi Museoa de Bilbao) concluyendo que los medios mecánicos complementados con químicos de manera localizada constituyen la opción más adecuada, ya que su empleo combinado disminuye la incidencia vibratoria del método mecánico reblandeciendo químicamente los elementos más compactos y permitiendo un mayor control y mayor abanico de aplicabilidad.

Palabras clave: Arqueología subacuática, metales arqueológicos, hierro, tratamientos de limpieza, conservación, restauración

Abstract

The submerged archaeological heritage provides historical and material information through objects housed for more than a century in the depths of seas, rivers or marshes. Given the scarcity of iron objects that are found, mainly due to the rapid corrosion processes that the material undergoes under the action of the salts of the underwater environment, the cleaning methods responsible for its durability acquire great relevance. This research focuses on the study of the different cleaning methods commonly used (mechanical, chemical and reduction methods), as well as the new proposals under development (laser or gas plasma) determining their advantages and disadvantages. At the same time,

an evaluation of the methods currently most used is carried out by intervening on iron nails from the Urbieta Wreck (Gernika 15th century, Vizcaya; Arkeologi Museoa in Bilbao), concluding that the mechanical means complemented with chemicals in a localized manner constitute the most appropriate option since their combined use reduces the vibratory incidence of the mechanical method, chemically softening the most compact elements and allowing greater control and greater range of applicability.

Key words: Subaquatic archaeology, archaeological metals, iron, cleaning methods, conservation, restoration

1. Introducción

La extracción de un metal arqueológico entraña siempre una operación de máximo riesgo para la pieza, debido a que el metal siempre está en un continuo intento de regresar a su estado inicial a través de la liberación de energía, desencadenando procesos químicos (oxidación) o electroquímicos (corrosión). De acuerdo a este comportamiento, proporcionar una explicación completa y sencilla sobre todo lo que concierne a los mecanismos de alteración de un metal arqueológico supone un reto ya que, las condiciones en las que se hallan, son una garantía de que habrá una combinación de elementos y reacciones complejas de carácter fisicoquímico, mecánico y/o biológico en continuo paralelismo, que desarrollan apenas entran en contacto con la atmósfera o con el medio en el que se encuentran soterrados, significando un grave problema, ya que la completa estabilización posterior a la extracción del mismo es prácticamente imposible, teniendo que aceptar una paulatina degradación del objeto de la cual se resignará a su completo detrimento y pérdida de su testigo histórico (Dávila, 2018; Fernández, 2018).

Procedimientos de estabilización como la desalación y los tratamientos de limpieza buscan frenar lo máximo posible estos procesos innatos, maximizados en este caso por el agua salada. Para el tratamiento de estas transformaciones internas, así como de los elementos externos que provocan su destrucción, existen diferentes tipos de métodos de limpieza mecánicos, químicos o de reducción, que se presentan como válidos ante el criterio del restaurador, el cual intervendrá con ellos de manera combinada o individual según una actuación pautada en la que, en primer lugar, se habrá ahondando en la historicidad del metal, en sus características inherentes y en su caracterización. Bajo la premisa de qué se debe eliminar y qué conservar en la búsqueda de la máxima estabilización del metal y la recuperación más aproximada de su vista formal originaria, el objetivo de esta investigación es analizar los métodos de limpieza empleados en metales arqueológicos procedentes de medios marinos así como las nuevas propuestas para determinar sus ventajas e inconvenientes estableciendo la adecuación de su uso según las características del objeto a intervenir y evaluar los métodos de limpieza más empleados a partir de las intervenciones de limpieza realizadas en clavos de hierro procedentes del Pecio de Urbieta (Gernika, Vizcaya), el cual representa la única evidencia de una embarcación del siglo XV excavada en el Cantábrico y que actualmente se exhibe en la exposición permanente del Arkeologi Museoa de Bizkaia.

1.1. Factores y alteraciones implicados en el deterioro de los metales arqueológicos en medios marinos

Las alteraciones encontradas en materiales metálicos recuperados en las intervenciones de arqueología marina o procedentes de contextos en los que interviene el agua salada mantienen procesos evolutivos y dinámicos, que en general, provocan graves factores de alteración como la erosión en la superficie

metálica. Es por ello que estos tienen relación no solo con factores químicos o físicos, sino también con la biología del entorno, así como la influencia directa de la salinidad del agua junto con los gases presentes que juegan un papel fundamental en su conservación. Por otro lado, otros factores fundamentales que incurren sobre el estado de conservación del metal se ven definidos por su posición en el fondo marino, el potencial redox (Eh), la biocolonización, la acción de bacterias como las sulfo-reductoras (corrosión biológica), los movimientos geológicos de erosión, tectónicos y de transporte entre otros, afectando de forma negativa o positiva a su estructura superficial e interna (Bouzas, 2009; North y MacLeod, 1987).

Por todo ello, cuando se halla un objeto arqueológico metálico que ha estado sometido a estas condiciones, el porcentaje de minerales que lo envuelven y lo han transformado es muy superior al porcentaje de núcleo metálico. En definitiva, cada metal o aleación tiene una forma u otra de reaccionar ante la saturada agua del mar, pero todos presentarán en mayor o menor medida corrosión, sulfuros, hidróxidos, hidrosulfatos, silicatos, etc. Para lograr la conservación de los objetos es por lo tanto necesario contrarrestar estas alteraciones mediante la aplicación de distintos tratamientos de limpieza disponibles en la actualidad, adecuando su uso a las características de cada objeto metálico y al objetivo de la intervención.

1.2. Extracción del medio marino

El proyecto de conservación debe comenzar desde el primer momento en el que se inicia una excavación. La especial precaución que se ha de tener en la extracción de cualquier material del medio subacuático, reside en los procesos químicos que se originan cuando estos son llevados a la superficie pudiendo tener consecuencias fatales en su conservación o llegando incluso a desaparecer su consistencia estructural (Bouzas, 2009). En concreto, para mayor seguridad de una buena conservación del objeto metálico la necesidad de intervenir in situ durante la excavación es casi imprescindible (extracción en bloque o en un recipiente hermético imitando las condiciones del medio acuático/dentro de una solución alcalina). Una vez se han extraído los materiales del yacimiento asegurados con las medidas de conservación pertinentes, habría que realizar un proceso de adaptación a las nuevas condiciones ambientales. Este proceso es muy delicado, ya que unas malas prácticas podrían conducir al afloramiento de nuevas alteraciones que exigirían tratamientos de estabilización y conservación preventiva inmediatos (Martín-Bueno, 2003; Rees-Jones, 1972).

El proceso de estabilización se identifica con la desalación, este paso posee una gran importancia ya que permite intentar disminuir o ralentizar el deterioro causado por la cristalización o disolución de las sales y soslayar posibles alteraciones en el proceso de restauración, procurando evitar la aparición de futuros deterioros. Cabe también mencionar que se trata de un proceso lento que se puede llegar a fusionar con algunas técnicas de limpieza, ya que el objetivo en el tratamiento de metales arqueológicos subacuáticos es, entre otros, principalmente la eliminación de los cloruros amalgamados entre los productos de corrosión.

2. Metodología

2.1. Estudio de los métodos de limpieza empleados sobre metales arqueológicos

En primer lugar se analizaron las ventajas y desventajas que presentan los distintos métodos de limpieza aplicados sobre metales arqueológicos a partir de una revisión bibliográfica exhaustiva con el fin de obtener una clasificación tabulada de las mismas, para posteriormente, poder seleccionar los distintos métodos a emplear sobre los clavos de hierro del Pecio de Urbietta.

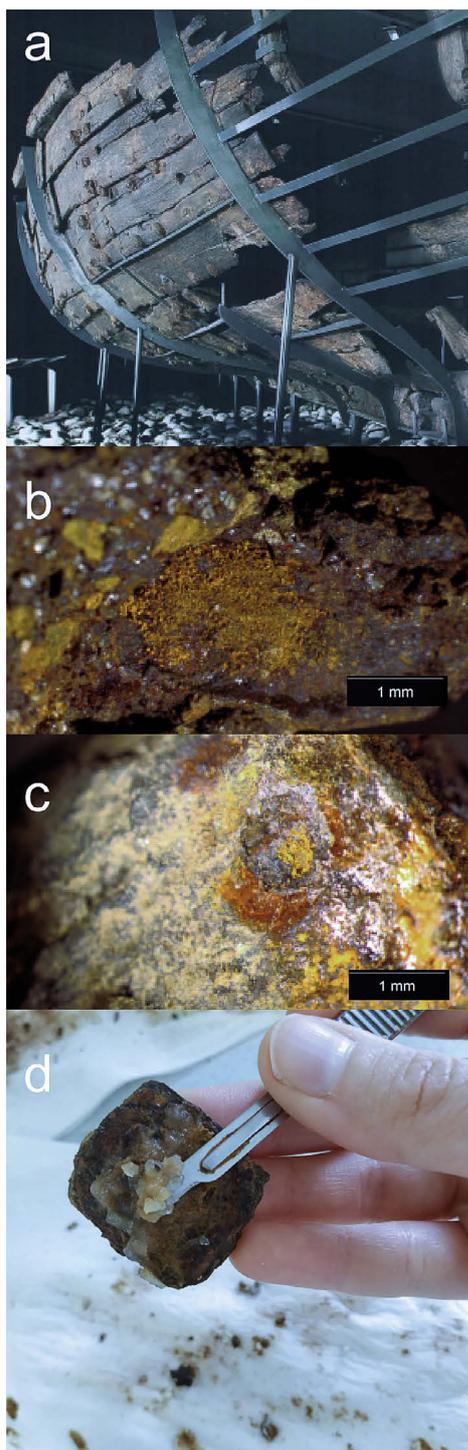


Figura 1. a. Pecio de Urbieta en la exposición del Arkeologi Museoa. b. Grietas y cráteres en superficie del clavo Q1. c. Mineral akaganeita junto con la acción de los cloruros sobre la superficie del clavo M1. d. Limpieza química con agar agar y EDTA en clavo Q2

Figure 1. a. Urbieta Wreck in the Arkeologi Museoa exhibition. b. Cracks and craters on the surface of the Q1 nail. c. Akaganeite mineral with the action of chlorides on the surface of the M1 nail. d. Chemical cleaning with agar agar and EDTA on Q2 nail

2.2. Limpieza de clavos de hierro procedentes del Pecio de Urbieta (Gernika, Vizcaya)

En segundo lugar, se realizó el estudio de los clavos de hierro procedentes del Pecio de Urbieta y se estableció su estado de conservación para llevar a cabo los tratamientos de limpieza seleccionados de acuerdo a las ventajas y desventajas compiladas según las fuentes bibliográficas consultadas.

Los clavos pertenecen a un pecio, un carguero de mineral de hierro, datado en el siglo XV. Fue hallado en 1998 a cuatro metros de profundidad en un meandro donde confluían antiguamente dos ríos en Gernika, Vizcaya. Hoy en día, se encuentra en la exposición permanente del Arkeologi Museoa de Vizcaya (Bilbao) debido a su singularidad (figura 1a). Con respecto a las características intrínsecas y extrínsecas del yacimiento, se detectó la presencia de minerales como la hematites (Fe_2O_3) o la goethita [$\text{FeO}(\text{OH})$], y altas concentraciones de zinc (Iraiben, 1999).

Los clavos hallados y utilizados para este estudio, son de tipo remache, roblón o terrano fabricados en hierro forjado. Su estado de conservación se identifica con el característico del hierro forjado bajo condiciones de humedad: hebras de escorias de aspecto débil y de apariencia de fibras de madera, que hacen que la superficie original se desprenda con facilidad, actuando como canales de penetración de los agentes corrosivos (óxidos e hidróxidos) y las sales (cloruros y las sales de hierro ferroso y férrico). A nivel particular, se observó corrosión deformante generalizada, cloruros en superficie aislados en su estado hidratado y deshidratado, alrededor de los cuales se formaban grietas y cráteres. Por otro lado, zonas que se presentaban estalladas ante la aparición del mineral akaganeita (debido a un cambio de ambiente marino a uno terrestre sin un proceso de adaptación previo) que, fusionada con la acción de los cloruros, había provocado una segunda oxidación que desencadenó en el desprendimiento por escamas de la superficie del objeto.

Según el estado de conservación de los clavos seleccionados y, con el fin de reflejar de manera práctica el procedimiento de los métodos de limpieza más empleados, se seleccionó un total de cuatro clavos: uno (M1) cuyo estado de conservación se presentaba lo suficientemente compacto para resistir una limpieza mecánica

manual y asistida mediante distintos áridos (óxido de aluminio de 83 μ /2-5 bar y óxido de vidrio/1-4 bar) y fresas de pulido (figura 1b); dos clavos (Q1 y Q2) de cohesión estructural débil y con presencia de concreciones en su superficie, para limpieza química empleando polifosfato y EDTA por inmersión y en gel de agar agar controlando distintos tiempos de aplicación y penetración de los productos (figura 1c). En base a la bibliografía consultada se pensó que la combinación entre un compuesto de menor fuerza como el polifosfato, junto con un ácido de carácter más agresivo aportarían resultados interesantes al estudio. Asimismo, se decidió aplicar EDTA en el clavo Q2 y no en el Q1 debido a que presentaba un mejor estado de conservación (figura 1d); por último, un clavo (E1) para limpieza por reducción a través del procedimiento de electrolisis general, intentando mantener la potencia en intervalos de cinco horas en rangos $\leq 0,5$ según el diagrama de Pourbaix para $\text{pH} \geq 10$.

3. Resultados y discusión

3.1. Estudio de los métodos de limpieza

En las tablas 1, 2 y 3 se exponen de forma resumida las características más relevantes tales como una breve descripción, las herramientas empleadas y los métodos de aplicación de los diferentes métodos de limpieza más comúnmente utilizados hoy en día. A su vez, según los resultados obtenidos de la recopilación de la bibliografía del ámbito de estudio se han establecido las ventajas y desventajas de los distintos métodos.

En base a los datos recopilados, se ha de considerar que ningún tratamiento es perfecto; es por ello que siempre se tendrá que intentar seleccionar el que menos perjudique a la pieza teniendo en cuenta las posibles consecuencias que este tendrá sobre el metal.

3.2. Limpieza de los clavos

El seguimiento de un método de detección y diferenciación de los estratos de alteración fue primordial a la hora de actuar con los métodos de limpieza mecánicos. La dificultad durante todo el proceso radicó en el control de las herramientas ya que, según el grosor del estrato de corrosión, se puede llegar a dañar la superficie original. Por un lado, se utilizaron las microesferas de vidrio aplicadas a baja presión y, por otro, el óxido de aluminio a una presión mayor. Como resultado, las microesferas fueron más agresivas que el óxido de aluminio a pesar de ser aplicado a una presión y cantidad de árido mayores. Este hecho también se tradujo en un menor control en la limpieza de las finas capas de corrosión mencionadas anteriormente, pudiéndose apreciar como resultado una ligera mayor abrasión en la mitad realizada con las microesferas de vidrio. Consecuentemente, al complementarse la limpieza con métodos mecánicos más abrasivos (como el torno de dentista) sobre aquellos productos de corrosión más duros y adheridos a la capa superficial, se consiguió una mejor incidencia sobre ellos. De este modo, se pudo constatar que la combinación de ambas herramientas (áridos y tornos) permite obtener una apariencia unitaria y equilibrada, así como en este caso, hallar improntas del fabricante o de la madera en la cara interna de la cabeza sin riesgo de daño.

En cuanto a la limpieza química, considerando el proceso llevado a cabo y los resultados consecuentes de cada operación, se debe destacar la actuación del EDTA frente a la inacción del polifosfato (NaPO_3). La escasa actuación de este último, evidencia la ausencia de carbonatos sobre la superficie original. Al mismo tiempo, por lo que respecta al EDTA, se pudo comprobar su eficiencia a la hora de reblandecer las concreciones formadas sobre el clavo durante una primera toma de contacto en

LIMPIEZA	TIPO	DESCRIPCIÓN	HERRAMIENTAS	APLICACIÓN
MECÁNICA	MANUAL	Retiro de la suciedad más superficial (restos de sedimento, productos procedentes de la excavación, corrosión, óxidos...) con ayuda de un utensilio, ejerciendo fuerza sobre la superficie del objeto.	De menos abrasivo a más abrasivo: Aire (aspirador, aire comprimido), cepillos (cerdas de nylon, naturales, latón, vidrio...), pulidores (hisopo de algodón seco, adhesivos flexibles, cintas adhesivas, goma de borrar...), para producir craquelados en las costras de corrosión (palos de bambú, agujas, bisturí, escalpelo...), en el caso de grandes masas de concreción se podrían llegar a utilizar martillos y pletinas.	Piezas que presentan una buena cohesión estructural. Eliminación de corrosión superficial.
		<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Control en la limpieza. - Idóneo para piezas en buen estado que sólo requieren de una limpieza superficial y ligera. - No hay impregnación de líquidos. - Permite conservar tanto las improntas como los restos de textil u otros materiales de interés arqueológico, adheridos a la superficie del objeto metálico. <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sólo permite limpiar muy superficialmente. - Pueden rayar la superficie metálica o, desprender secciones con escasa adherencia procedentes de algún motivo ornamental o de improntas. - No aconsejable en metales dorados, plateados o estañados. 		
	ASISTIDA	Limpieza en seco con ayuda de herramientas giratorias, emisoras de vibraciones o, abrasivos cuya función es la de reducir el volumen de las capas de corrosión.	Tornos de dentista (micro motores con distintos grosores de broca), puntas vibracionistas, Dremel (disco), proyección a baja o alta presión de abrasivos de diversa granulometría (vegetales, plásticos, microesferas de vidrio).	Muy frecuente en la eliminación de las masas de concreción características de los metales submarinos. También sirve para retirar los productos de corrosión adheridos a la superficie original (corrosión superficial).
		<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Control de la limpieza sobre las zonas deseadas, consiguiendo actuar bajo un criterio de mínima intervención: se retiran sólo aquellos productos que no facilitan la lectura del objeto. - Idóneo para piezas en buen estado que sólo requieren una limpieza superficial y ligera. - No hay impregnación de líquidos. <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si no se tiene suficiente dominio de las herramientas, se puede llegar a dañar o destruir la superficie original, por lo que requieren conocimiento y experiencia previos a su manejo. - En algunos casos es demasiado agresivo sobre metales blandos, de sección muy fina o frágiles, así como las vibraciones pueden potenciar el desprendimiento o levantamiento de zonas con escasa adherencia. - No es aconsejable en metales dorados. 		
QUÍMICA	SUPERFICIAL	A través del uso de geles, se consigue que el líquido no penetre al interior de la pieza, quedándose en las primeras capas y reaccionando con los elementos ubicados en ellas. Este método se suele realizar controlando el tiempo en el que está expuesto el metal al químico.	Químicos: EDTA (hierro, cobre o plomo), polifosfato, sequecarbonato de sodio (cobre), ácido fórmico y cítrico(plata), amoníaco (plata)... Aplicación: brocha, pincel, hisopo, pinzas, recipientes herméticos, etc.	Metales débiles o blandos que no soportarían una limpieza mecánica. Metales muy frágiles estructuralmente que aún conserven un porcentaje mínimo de núcleo metálico y que no soportarían estar en contacto con ningún elemento sólido. Eliminación de corrosión general. Complementario a otros métodos de limpieza.
		<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rapidez en la limpieza y cambios visibles a simple vista <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cambios superficiales, coloración, descontrol en su aplicación o destrucción de la superficie original. 		
		A través de cámaras de vacío se introduce el metal en ellas y se aplican gases químicos.	Químicos gaseosos: H ₂ O, alcohol, acetona, EDTA (hierro, cobre o plomo), polifosfato, sequecarbonato de sodio (cobre), ácido fórmico y cítrico (plata), amoníaco (plata)... Recipientes herméticos y/o cámara de vacío.	Metales muy frágiles que no resistan ningún tipo de manipulación o fuerza sobre su superficie.
	SECA	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - No es necesaria la manipulación del objeto. <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Impregnación total del metal, posibles cambios químicos, cambios de color, descontrol en su aplicación, destrucción de la superficie original o, es muy difícil retirar al 100% el producto químico utilizado dada la superficie porosa del metal. - Si se trata de soluciones acuosas, pueden provocar rápidas oxidaciones en la superficie del metal. 		
		Se sumerge la pieza metálica en una disolución química dentro de un recipiente hermético	Químicos: H ₂ O, alcohol, acetona, EDTA (hierro, cobre o plomo), polifosfato, sequecarbonato de sodio (cobre), ácido fórmico y cítrico(plata), amoníaco (plata)... Recipientes herméticos y/o cámara de vacío.	Objetos débiles. Complementaria a un tratamiento mecánico. Disolución concreciones.
	INMERSIÓN	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Escasa manipulación. - Eficaz con costras gruesas de concreción. <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cambios superficiales, coloración, descontrol en su aplicación, destrucción de la superficie original o de todo el objeto. - Alteración química. - Se desaconseja en caso de debilidad del núcleo metálico, de la pátina o la presencia de fisuras. - Si se trata de soluciones acuosas, pueden provocar rápidas oxidaciones en la superficie del metal. - Impregnación total del metal, es muy difícil retirar el 100% el producto químico utilizado dada la superficie porosa del metal. 		

Tabla 1. Características más relevantes (descripción, herramientas empleadas, métodos de aplicación) y ventajas y desventajas de los métodos mecánicos manuales y asistidos (Barrio *et alii*, 2008; Turner-Walker, 2008) y los métodos químicos superficiales, en seco y en inmersión (Watkinson, 2010; Pardo, 2014; González, 2003; Turner-Walker, 2008)

Table 1. Most relevant characteristics (description, tools used, application methods) and advantages and disadvantages of manual and assisted mechanical methods (Barrio *et al.*, 2008; Turner-Walker, 2008) and surface, dry and chemical methods. immersion (Watkinson, 2010; Pardo, 2014; González, 2003; Turner-Walker, 2008)

LIMPIEZA	TIPO	DESCRIPCIÓN	HERRAMIENTAS	APLICACIÓN
REDUCCIÓN	ELECTRÓLISIS PUNTUAL	Limpieza puntual a través de corrientes eléctricas en la que se aísla una zona de la pieza metálica (cátodo) en una disolución salina la cual actúa como electrolito, dentro de una celda que favorecerá el flujo de corrientes (ánodo). Esta técnica consiste en la aplicación de un instrumento conectado a la corriente eléctrica, cuya forma se asemeja a la de un puntero o lápiz actuando como celda electrolítica. Se produce el proceso de reducción.	Lápiz de electrólisis.	Piezas que presentan una gran cantidad de cloruros tanto superficiales como internos. Piezas frágiles y debilitadas que no soportarían una limpieza mecánica. Piezas de gran formato de hierro como es el caso de los cañones. Reducción y/o eliminación de corrosión superficial y/o general.
		VENTAJAS - Permite hacer limpiezas o estabilizaciones controladas en zonas concretas.		
		DESVENTAJAS - Es necesario que el núcleo metálico esté en buen estado. - Si no se aplican bien los parámetros del diagrama de Pourbaix, se puede llegar a destruir o cambiar las propiedades químicas del núcleo metálico existente en la pieza. - Es necesario un equipo especializado. - Impregnación total de la solución salina.		
	ELECTRÓLISIS GENERAL	Consiste en el empleo de una corriente eléctrica que fuerza el desarrollo de una determinada reacción química. El objeto de metal corroído se conecta al cátodo donde tiene lugar la reducción, y el ánodo suele ser una lámina de hierro o de un metal inerte (acero inoxidable) en la que tiene lugar la oxidación. El electrolito suele ser hidróxido de sodio (NaOH) preparado al 5% en agua destilada.	Recipiente no conductor cuyo tamaño varía según el objeto al que se le vaya a aplicar. Fuente de alimentación eléctrica similar a una de tipo VOLTcraft EP-925 PSU de tensión ajustable (3-15 Vcc 2-25 A 375 W). Cables eléctricos, aluminio...	Muy utilizado en la estabilización de cloruros en metales cuyo núcleo metálico está en buenas condiciones. También se utiliza para realizar limpiezas en hierros de gran tamaño, como es el caso de los cañones o los proyectiles.
		VENTAJAS - Permite estabilizar y limpiar sin manipular el objeto.		
		DESVENTAJAS - Coste de las instalaciones en algunos casos. - Impregnación total del objeto y se somete a rangos de temperatura altos.		
ELECTROQUÍMICA	Técnica por la cual se aumenta la porosidad del interior de la pieza metálica por reducción, consiguiendo así productos de corrosión más densos que atacan a los cloruros. En términos generales, consiste en formar una pila en la que el cátodo sea el metal corroído y el ánodo sea un metal con un potencial de oxidación elevado y superior al del metal en tratamiento. El metal generalmente utilizado como ánodo es el zinc y en algunos casos el aluminio. El electrolito en presencia del cual se lleva a cabo el proceso suele ser hidróxido de sodio (NaOH) disuelto en agua destilada (10%-20%).	-Limpieza galvánica/ polarización indirecta sobre cloruros: en contacto con una lámina de un metal más reductor que el objeto metálico a tratar, se sumergen ambos dentro de una solución con pH básico que actuará como electrolito. En este proceso, el hidrógeno que se transforma procedente de la superficie del metal que constituye la pieza, actuará como reductor. -Reducción con sulfito sódico (Na ₂ SO ₃) en medio alcalino: a 50°C se sumerge el objeto en una disolución de Na ₂ SO ₃ , se va controlando la concentración de cloruros y renovando la disolución. -Corriente de hidrógeno a altas temperaturas: dentro de un horno con una temperatura de 400°C y con atmósfera de hidrógeno, se coloca el objeto metálico con el propósito de reducir los cloruros y los óxidos que contiene. A mayor corrosión, mayor temperatura.	Tratamiento simultáneo de un gran número de piezas de pequeño tamaño, que presenten una ligera corrosión. Piezas de origen terrestre cuya concentración en sales es menor. Piezas principalmente de hierro muy corroídas.	
	VENTAJAS - Permite estabilizar y limpiar sin manipular el objeto.			
	DESVENTAJAS - El hidrógeno es un gas altamente inflamable, por lo que su manipulación es peligrosa. - Coste de las instalaciones en algunos casos. - Impregnación total del objeto y se somete a rangos de temperatura altos.			

Tabla 2. Características más relevantes (descripción, herramientas empleadas, métodos de aplicación) y ventajas y desventajas de los métodos de reducción (Watkinson, 2010; Díaz y García, 2015; Pardo, 2014; González, 2003; Escudero et alii, 2011)

Table 2. Most relevant characteristics (description, tools used, application methods) and advantages and disadvantages of reduction methods (Watkinson, 2010; Díaz and García, 2015; Pardo, 2014; González, 2003; Escudero et al., 2011)

MÉTODO	DESCRIPCIÓN	HERRAMIENTAS	APLICACIÓN
LÁSER	Concentración de una gran cantidad de energía sobre una zona determinada del objeto metálico, a través de pulsos de muy corta duración. Por lo tanto, la materia superficial (productos de corrosión), se retira mediante ablación fototérmica (infrarrojos) o radiación fotoquímica (UV).	Por ejemplo, el aparato que poseen en el SECYR es un láser Nd:YAG Eos 1000 SFR (Short free running): 1064 nm (nanómetros). Duración del pulso: 60-120 µs (microsegundos). Energía: 50-1000 mJ (mili julios). Frecuencia de pulso: 1-20 Hz (hercios de repetición). Diámetro del spot: 1,5-6 mm (Pardo, 2014)	Hierro, plomo, cobre, plata, objetos muy deteriorados, aleaciones... Complementario a otros métodos de limpieza.
	VENTAJAS - No implica contacto físico con la pieza. - Mayor control sobre la limpieza. - Aplicable sobre zonas aisladas. - No deja residuos químicos. - No raya. - Se evitan vibraciones o tensiones. - Estabilización de focos activos de cloruros.		
	DESVENTAJAS - Es necesario un completo dominio de la técnica y un conocimiento previo de la composición metalográfica del metal, para aplicar los parámetros adecuadamente. - Aún está en estudio por lo que la experiencia se reduce a un número concreto de casos a lo largo de un periodo corto de tiempo.		
PLASMA DE GASES	Se hace fluir un gas a través de una descarga electromagnética de alta frecuencia dentro de una cámara en condiciones de vacío. En consecuencia, el gas se ioniza. A continuación, se produce una reacción entre el gas altamente reactivo y las capas moleculares que se hallan en superficie. Debido a que la densidad del plasma posee mayor fuerza que la del objeto metálico, se producen reacciones en la superficie del metal. Posteriormente, los elementos orgánicos reducidos por el hidrógeno se vaporizarán y como resultado, quedarán unas costras de corrosión porosas y débiles, fáciles de retirar con medios mecánicos.	Recipiente hermético.	Piezas metálicas pequeñas. Eliminación de cloruros. Complementario a otros métodos de limpieza.
	VENTAJAS - Se consigue estabilizar los procesos corrosivos. - Rápido. - Permite aislar a la pieza del oxígeno. - Se estima que tiene una duración media por pieza de tamaño mediano, de unas veinte horas. Por lo tanto, en tratamientos de desalación se acorta el proceso considerablemente.		
	DESVENTAJAS - Cambios en la apariencia. - Al ser necesario el estado de vacío, hay que controlar la presión que se ejerce sobre el metal. - Equipos son caros y difíciles de obtener.		
BIOREGENERACIÓN ENZIMÁTICA	A partir del estudio del proceso de alteración de la biocorrosión, donde es protagonista la acción de las bacterias sulfatoreductoras o la de las ferrobacterias, se pueden utilizar los procesos metabólicos de estas para catalizar algunas reacciones corrosivas.	Ambientes anóxicos.	En estudio.

Tabla 3. Características más relevantes (descripción, herramientas empleadas, métodos de aplicación) y ventajas y desventajas de los nuevos métodos en desarrollo (Díaz y García, 2015; Escudero *et alii*, 2011; Pardo, 2014)

Table 3. Most relevant characteristics (description, tools used, application methods) and advantages and disadvantages of the new methods under development (Díaz and García, 2015; Escudero *et al.*, 2011; Pardo, 2014)

inmersión total. Como resultado, el único inconveniente a considerar sería la rápida oxidación que sufre el hierro en contacto con el ácido, debido a su pH (a pesar de que este fue controlado en todo momento). En consonancia a este hecho, con la aplicación de las papetas de agar agar se pudieron controlar ambos factores gracias a su carácter localizado y aislado obteniendo finalmente resultados positivos muy similares a los de la inmersión.

Por último, en la limpieza electrolítica en el clavo E1 en la primera semana se pudo observar cómo algunos productos de corrosión se iban desprendiendo. Sin embargo, pasado este espacio de tiempo se dejaron de apreciar sus efectos sobre el clavo a pesar de que se podía observar el flujo de corriente en el ánodo en forma de pequeñas burbujas. Al observar la reacción del clavo ante la potencia de 1,5V en un pH tan elevado sin conseguir disminuir ambos lo suficiente como para estar dentro de los rangos de estabilización, se produjo en él un aspecto «calcinado» comprometiendo la conservación de la pieza. Debido a la evolución que estaba experimentando el clavo se optó por concluir el procedimiento.



Figura 2. a. Estado de conservación de la cabeza antes de ser intervenida. b. Estado después de la aplicación en cada mitad de los dos tipos de árido. c. Resultado final tras la aplicación del torno de dentista donde se pueden apreciar ciertas zonas donde se ha llegado a la superficie original

Figure 2. a. State of conservation of the head before being intervened. b. State after application in each half with the two types of aggregate. c. Final result after the application of the dentist's lathe where it is seen certain areas where the original surface has been reached

4. Conclusiones

La presente investigación pone de manifiesto la necesidad de conocer los factores de deterioro de los metales arqueológicos y la influencia que ejerce el medio marino sobre ellos. Este conocimiento se presenta como esencial siempre que se realice una intervención de conservación-restauración de un objeto metálico arqueológico de procedencia subacuática. Ante esta necesidad, se destaca que en el caso de los metales sumergidos o en contacto con agua salada, no sólo se ven determinados por las propiedades inherentes al metal o por su localización en el fondo marino sino también, por factores antrópicos o extrínsecos cuyo papel es fundamental en el aumento de las distintas patologías, agravándolas en el peor de los casos.

Por consiguiente, previa a la elección de una metodología de limpieza adecuada, se deben tener en cuenta los procesos químicos que se originan en el metal al ser llevado a la superficie y en contacto con el nuevo medio, previamente habiendo aplicado métodos de conservación preventiva *in situ*. Una vez en el laboratorio, se ha de establecer el procedimiento de limpieza adecuado de acuerdo a si la pieza conserva núcleo metálico sano o no. Dicha elección se realizará basándose en un estudio contrastado con otros casos, así como en la caracterización de los estratos y elementos de alteración de la pieza.

Por último, en relación con los clavos de hierro pertenecientes al Pecio de Urbietta, se concluye que ningún tratamiento es perfecto y aplicable de manera única y que, por esta razón se ha de intentar elegir el procedimiento que menos perjudique a la pieza según sus características intrínsecas sin descartar una combinación entre técnicas químicas, mecánicas o electroquímicas. De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que los medios mecánicos complementados con químicos de manera localizada constituyen la opción más adecuada. De esta manera se consigue limitar la incidencia vibratoria del método mecánico al reblandecer químicamente los elementos más compactos y por lo tanto, se facilita su remoción con instrumentos mecánicos más suaves (bisturís, escalpelo, hisopos...) permitiendo un mayor control, una limpieza más efectiva y mayor abanico de aplicabilidad al disminuir su factor abrasivo sobre hierros más débiles estructuralmente.

Bibliografía

- Barrio, J., Chamón, J., Arroyo, M., Pardo, A. I. y Catalán, E. (2008): “La conservación y restauración de los metales arqueológicos: Propuestas metodológicas y arqueometría”. *VII Congreso Ibérico De Arqueometría (CIA)*. Madrid: 576-592.
- Bouzas, A. (2009): “Materiales arqueológicos subacuáticos inorgánicos: conservación y restauración”. En T. Carreras Rosell (ed.): *Arqueología Náutica Mediterrània*. Dades Editorials. Barcelona: 615-626.
- Dávila, C. (2018): “Metales”. *150 años de conservación y restauración en el museo arqueológico nacional. Una historia imprescindible recuperada*. Secretaría General Técnica. Madrid: 140-150.
- Díaz, S. y García, E. (2015): *Proyecto COREMANS. Criterios de intervención en materiales metálicos*. Secretaría General Técnica. Subdirección General de Documentos y Publicaciones. Madrid.
- Escudero, C., Barrera, M., Sánchez, I., Martín, R., Pérez, C. y Reyes, O. (2011): “Láser e inmersión en soluciones líquidas para la limpieza de metales arqueológicos: el caso del anillo tardorromano del Pago de las Pizarras, en Coca, Segovia”, *IV Congreso Latinoamericano de Conservación y Restauración de metal*: 335.
- Fernández, C. (2018): “Procesos de alteración y sistemas de estabilización del hierro arqueológico de procedencia subacuática”. *I Jornadas científicas: Arqueología y restauración*: 50.
- González, C. (2003): “Importancia de la selección de los métodos de limpieza para metales arqueológicos”. *El Correo del Restaurador*, 4.
- Iraiben, M.J. (1999): “Vertidos de escorias en el Río Oka (Reserva Natural de la Biosfera de Udaibai, Vizcaya): Aspectos mineralógicos y geoquímicos”, *Geogaceta*, 25: 111-113.
- Martín-Bueno, M. (2003): “Patrimonio cultural sumergido: investigar y conservar para el futuro”. *Monte Buciero - La conservación del material arqueológico subacuático*, 9: 22-62.
- North, N.A. y MacLeod, I.D. (1987): “Corrosion of metals”. En C. Pearson (ed.): *Conservation of Marine Archaeological Objects*. Butterworths. London: 68-98.
- Pardo Naranjo, A.I. (2014): “Nuevas perspectivas en la restauración y conservación de la numismática arqueológica. Desde los tratamientos mecánicos al láser”. *XV Congreso Nacional de Numismática*: 655-666.
- Rees-Jones, S.G. (1972): “Some aspects of conservation of iron objects from the sea”. *Studies in Conservation*, 17: 39-43.
- Rieth, E. (2006): “L'épave d'Urbietta (Gernika): une embarcation à clin du milieu du XV^e siècle. Étude préliminaire”. *Itsas Memoria. Revista de Estudios Marítimos del País Vasco*, 5: 603-616.
- Turner-Walker, G. (2008): *A Practical Guide to the Care and Conservation of Metals*. Taipei.
- Watkinson, D. (2010): “Preservation of Metallic Cultural Heritage, Corrosion Management.” *Preservation of Metallic Cultural Heritage*. B.V. Elsevier: 3307-3340.



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).

