

Proyecto COREMANS

Ministerio
de Educación, Cultura
y Deporte

Criterios de intervención en materiales metálicos

The COREMANS Project. Intervention criteria for metallic materials



Proyecto COREMANS

Criterios de intervención en materiales metálicos

The COREMANS Project

Intervention criteria for metallic materials

Edición 2015

Coordinación científica

Soledad Díaz Martínez
Emma García Alonso

Comisión científica

Joaquín Barrio Martín
Soledad Díaz Martínez
Emilio Cano Díaz
Isabel Delgado Iglesias
Cristina Escudero Ramírez
Emma García Alonso
Nayra García-Patrón Santos
María Paz Navarro Pérez
María Paz Ruiz Rivero
Durgha Orozco Delgado
María Antonia Moreno Cifuentes

Coordinación de la publicación

Alejandro Carrión Gútiez

Consejo editorial del IPCE

Isabel Argerich Fernández
Alejandro Carrión Gútiez
Rosa Chumillas Zamora
Soledad Díaz Martínez
Adolfo García García
Carlos Jiménez Cuenca
Lorenzo Martín Sánchez
Alfonso Muñoz Cosme
José Vicente Navarro Gascón
Carmen Pérez de Andrés
María Pía Timón Tiemblo

Fotografías

Archivo IPCE y Comisión científica (excepto figura 2)

Fotografía de la cubierta

Cabeza de caballo, escultura ecuestre de Felipe IV (1640) obra de Pietro Tacca, en colaboración con Diego Velázquez y Galileo Galilei. Plaza de Oriente, Madrid.



MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CULTURA
Y DEPORTE

Edita:
© SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA
Subdirección General
de Documentación y Publicaciones

ÍNDICE / INDEX

Proyecto COREMANS. Criterios de intervención en materiales metálicos	5
<i>Introducción</i>	6
<i>Marco normativo</i>	9
<i>Consideraciones previas</i>	19
<i>Fase metodológica 1: estudios y diagnóstico</i>	21
<i>Fase metodológica 2: estudios y diagnóstico</i>	28
<i>Transferencia del conocimiento</i>	46
<i>Conclusión</i>	48
The COREMANS Project. Intervention criteria for metallic materials	50
<i>Introduction</i>	51
<i>Regulatory framework</i>	53
<i>Prior considerations</i>	63
<i>Stage 1: Research and diagnostic</i>	65
<i>Stage 2: Execution and treatment</i>	72
<i>Transfer of knowledge</i>	90
<i>Conclusion</i>	92
Bibliografía / References	94

Proyecto COREMANS

Criterios de intervención en materiales metálicos



Introducción

El presente documento continúa el proyecto COREMANS promovido por el Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE)¹. Su objetivo es la propuesta y definición de un conjunto de criterios y recomendaciones fundamentales a la hora de intervenir en la conservación y restauración de obras u objetos que forman parte del patrimonio cultural y cuyo soporte material es básicamente metálico.

Los bienes culturales que formarían parte de este grupo son tan diversos que están presentes en todas las clasificaciones o tipologías de patrimonio que podamos establecer: arqueológico, científico, tecnológico, musical, etnográfico, artístico, industrial... Son obras y objetos realizados en diversos metales: cobre, estaño, hierro, aluminio, plomo, plata, oro y sus aleaciones, así como objetos de los que los metales forman parte junto con otros materiales.

De ahí el interés de preservar este legado en las mejores condiciones y de transmitirlo al futuro con las mayores garantías de pervivencia. Por tanto, no se trata sólo de incluir los materiales metálicos musealizados presentes en colecciones de Instituciones o Museos, sino también aquellos con contenido inmaterial asociado², obras contemporáneas o los que siguen desempeñando el uso originario³, con especial referencia a los que integran el Patrimonio Religioso⁴.

Es necesario, pues, contar con un conjunto de criterios que ayuden a articular de manera ordenada y con plena justificación las acciones de conservación y restauración realizadas sobre este patrimonio. Una tarea no exenta de complejidad puesto que los metales, por su propia naturaleza derivan hacia su estado original, más estable, mediante procesos de oxidación –corrosión– que los transforman en el mineral del que proceden. Este proceso afecta no sólo a su materia constitutiva original, sino también a sus valores estéticos y compromete su propia existencia futura.

Estas recomendaciones deben hacer hincapié no sólo en los tratamientos de restauración, métodos de trabajo, materiales etc., sino también en las demás acciones que forman parte del enfoque: mantenimiento y conservación preventiva, medidas correctoras a medio y largo plazo, aplicables a las condiciones ambientales para asegurar la sostenibilidad y la seguridad como valores fundamentales.

¹ En el año 2013 se publicó el volumen *Criterios de intervención en materiales pétreos*. Subdirección General del Instituto del Patrimonio Cultural de España. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. <https://sede.educacion.gob.es/publiventa/detalle.action?cod=14516C>

² Como sucede con el Patrimonio etnográfico y antropológico: *Los bienes muebles e inmuebles y los conocimientos y actividades que son o han sido expresión relevante de la cultura tradicional... en sus aspectos materiales, sociales o espirituales... cuyo modelo constitutivo sea expresión de conocimientos adquiridos, arraigados y transmitidos consuetudinariamente y cuya factura se acomode, en su conjunto o parcialmente, a una clase, tipo o forma utilizados tradicionalmente por las comunidades o grupos humanos*. Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español (LPHE), artículos 46 y 47.

³ Los metales, por sus características físicas, forman parte de muchos bienes culturales que se mantienen en uso: ornamentos de inmuebles (luminarias, servicios de mesa...), objetos litúrgicos (custodias, cruces procesionales...), relojes, instrumentos musicales (órganos, campanas...), rejeras, mobiliario urbano, patrimonio industrial, etc. No hay que pretender necesariamente recuperar el uso de esos objetos mediante soluciones drásticas, sino estudiar la posibilidad de hacerlo por otras vías.

⁴ España es el primer país del mundo en patrimonio cultural eclesialístico con un 80% de bienes cuantificados. Su protección se recoge en el artículo 46 de la Constitución Española, en el artículo 28.1 de la LPHE 16/1985, en los Reales Decretos 111/1986, de 10 de enero, y 64/1994, de 21 de enero, de desarrollo de esta ley, y en los acuerdos particulares que la Iglesia suscribe con las 17 Comunidades Autónomas. La LPHE específicamente recoge su uso, en el artículo 36.2, 3 y 4. Además el uso de los bienes patrimoniales eclesialísticos se recoge en el canon 1254 del Código de Derecho Canónico que especifica que la Iglesia necesita de los bienes materiales para desarrollar su labor pastoral, y que la titularidad del grueso de su patrimonio es de sus diferentes personalidades jurídicas.

Por tanto este documento deontológico, que surge con el propósito de ser de utilidad para los conservadores-restauradores y otros profesionales de campos afines, tendrá un carácter generalista que permita una aplicación sencilla sobre el conjunto de los materiales metálicos, atendiendo también a la singularidad de los casos concretos. Para llegar a la concreción que exige, se ha contado con el trabajo de un grupo de profesionales implicados en esta área de conocimiento y se han tenido en cuenta un buen número de normas de ámbito nacional, europeo o que afectan también a otros países por su vinculación a UNESCO, ICOM o ICOMOS, relacionadas con el que podríamos llamar *patrimonio metálico*. Es una invitación colectiva para participar en el proyecto común de la conservación de estos bienes dentro de un marco de rigor y calidad.

Marco normativo

Los códigos deontológicos en la conservación y restauración (CR) de los bienes patrimoniales, están recogidos en las convenciones, estatutos, recomendaciones y cartas de organismos internacionales. Dentro de la legislación, la aplicación de los criterios de intervención se menciona en el artículo 39 de la **Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español** (LPHE), una ley algo genérica y falta de desarrollo especialmente para los bienes muebles, pero concordante con el pensamiento de mediados del pasado siglo en materia de restauración. El articulado normativo ha ido creciendo y adaptándose con la aparición de las diferentes leyes de protección nacionales y autonómicas, y las legislaciones internacionales de obligado cumplimiento.

Son pocas las referencias particulares al Patrimonio Metálico. Hay documentos con criterios generales que pueden extrapolarse en cuanto a ciertos aspectos de las intervenciones como pueden ser limpiezas, reintegraciones, materiales a emplear etc., pero generalmente se refieren al caso concreto de la piedra. Enumeramos aquí algunos que de alguna manera afectan al patrimonio metálico en cualquiera de sus aspectos:

- En la **Carta de la conservación y restauración de los objetos de Arte y Cultura** de 1987, que renueva, integra y sustituye a la Carta del Restauero de 1972, se incluye y define el bien de carácter antropológico: *obras de arquitectura y de agregación urbana, ambientes naturales de especial interés antropológico, fáunico y geológico, ambientes “construidos”, como parques, jardines y paisajes agrarios, instrumentos técnicos, científicos y de trabajo, libros y documentos, testimonios de usos y costumbres de interés antropológico, obras de figuración tridimensional, obras de figuración plana sobre cualquier tipo de soporte (mural, de papel, textil, lúneo, de piedra, metálico, cerámico, vítreo, etc.).*
- La **Recomendación que define los principios internacionales que deberán aplicarse a las excavaciones arqueológicas** (Nueva Delhi 1956) promovida por la Conferencia General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, especifica “*la necesidad de ejercer una atenta vigilancia de las restauraciones de los vestigios y objetos arqueológicos descubiertos*” y alienta a “*fomentar el respeto y la estimación del público por los vestigios del pasado a través de la educación y la difusión*”.

Esta recomendación se ratifica en el Convenio Europeo para la protección del patrimonio arqueológico de 1969 y se revisa en 1992 en La Valetta. España se adhiere a ella en 1975 (BOE de 5 de julio de 1975). En este último convenio revisado se incluyen específicamente *estructuras, construcciones, grupos de edificios, obras de ingeniería civil, objetos muebles y monumentos de cualquier otro tipo, así como su contexto, sea sobre tierra o bajo el agua y los bienes culturales de carácter antropológico y etnográfico.*

- La **Carta de ICOMOS para la Protección y la Gestión del Patrimonio Arqueológico** (Carta de Lausana de 1990) define el término de Patrimonio Arqueológico como *aquel que representa la parte de nuestro patrimonio material para la cual los métodos de la arqueología nos proporcionan la información básica.*

Engloba todas las huellas de la existencia del hombre y se refiere a los lugares donde se ha practicado cualquier tipo de actividad humana, a las estructuras y los vestigios abandonados de cualquier índole, tanto en la superficie como enterrados, o bajo las aguas, así como el material relacionado con los mismos.

- En el **Documento de Nara** (1994) se valoran por primera vez los aspectos inmateriales y espirituales de la obra, cuyo mantenimiento puede primar incluso sobre la conservación de los propios materiales constituyentes. Este documento ha sido fundamental para fijar



Figura 1. Un ejemplo muy poco común de objetos de hierro y bronce adheridos entre si y a un material cerámico debido a la corrosión. Museo de Albacete.

los criterios de conservación de objetos de culto o de uso: *...no es posible realizar juicios de valor o autenticidad con un criterio fijo, por el contrario, el respeto debido a todas las culturas requiere que el patrimonio cultural sea considerado y juzgado dentro del contexto cultural al cual pertenecen... Dependiendo de la naturaleza del patrimonio cultural, su contexto cultural, y su evolución a través de tiempo, los juicios de autenticidad pueden relacionarse a la validez de una gran variedad de fuentes de información. Los aspectos de las fuentes pueden incluir forma y diseño, materiales y substancia, uso y función, tradiciones y técnicas, la localización y contexto, espíritu y sentimientos, y otros factores interiores y exteriores.*



Figura 2. Procesión de la Custodia de Arfe el día del Corpus Christi en Toledo, 2005. Foto: Rafael Ibáñez Fernández. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Procesión_de_la_Custodia_-_Corpus_-_Toledo_-_29_may_2005.JPG

- En la **Carta Internacional para la Protección y la Gestión del Patrimonio Cultural Subacuático** (Carta de Sofía) adoptada por ICOMOS en 1996, se definen los objetivos científicos, metodología, técnicas, cualificaciones, responsabilidades y experiencia necesaria para abordar tanto la conservación, protección y gestión del sitio como los materiales recuperados. La posterior **Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático** de 2001, que entra en vigor en España en 2009⁵, define más ampliamente lo que se entiende por Patrimonio Cultural Subacuático y da las recomendaciones necesarias para garantizar y fortalecer su protección. En España estas recomendaciones se concretan en el Plan Nacional de Protección del Patrimonio Cultural Subacuático Español (el **libro verde** de 2010)⁶.
- La **Carta de Cracovia** (2000) aboga por la realización del proyecto de conservación y de restauración, mantenimiento y reparación, cualificación, mínima intervención, mantenimiento de la autenticidad e integridad, riesgos y prevención. Está enfocada al patrimonio edificado aunque resulta extrapolable a otros tipos de bienes.

⁵ España firma en el 2001 y lo ratifica en 2005, aunque no entra en vigor hasta el 2-01-2009.

⁶ A la vez que se desarrolla la normativa se crean centros de referencia (ARQUA a nivel nacional o C.A.S., C.A.S.C.V. y C.A.S.C. a nivel autonómico) como respuesta a los graves daños ocasionados por el continuo expolio de los pecios en zonas culturales subacuáticas.

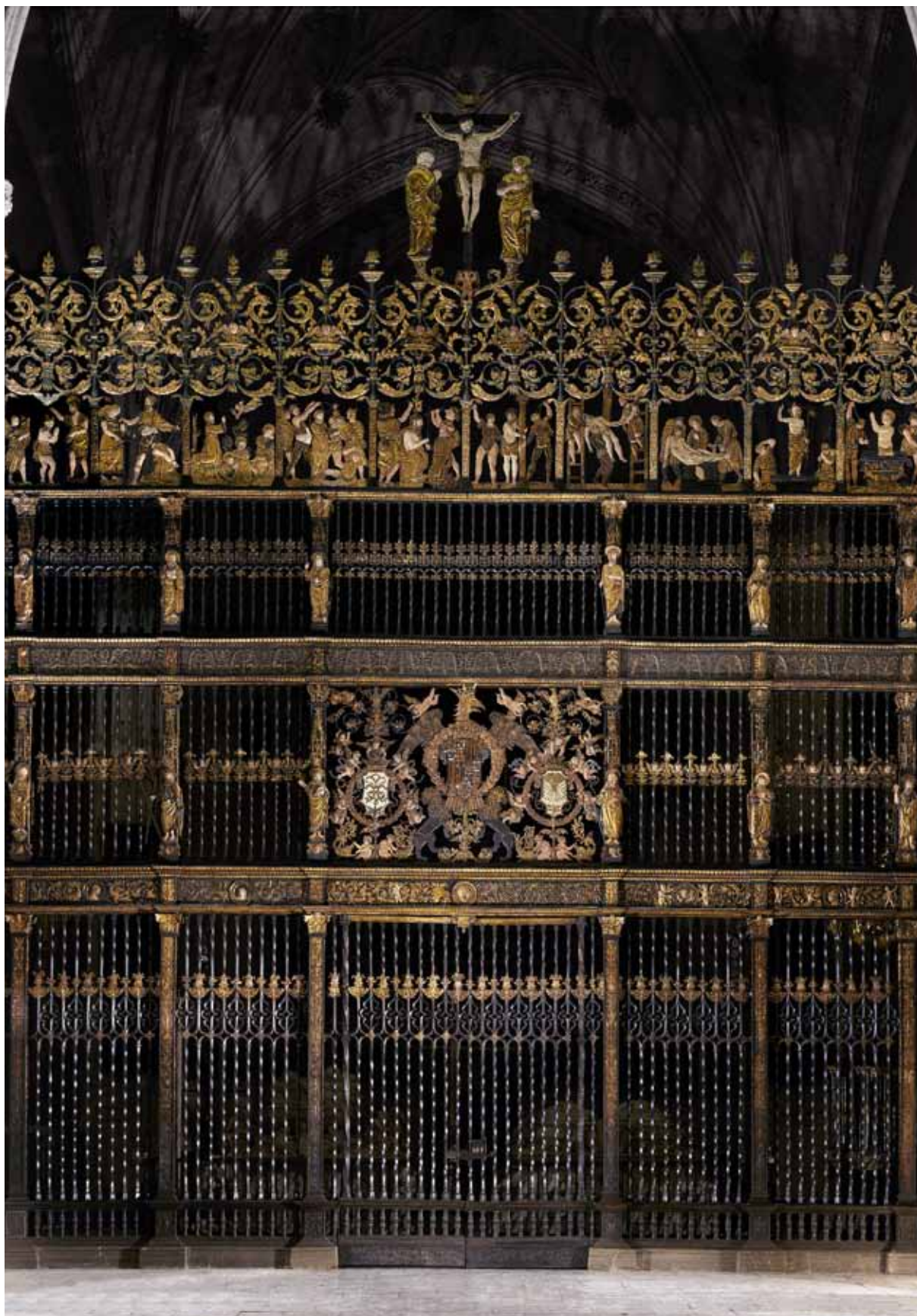


Figura 3. Reja de la Capilla Real de Granada.

- La **Carta de Riga de autenticidad y reconstrucción histórica en relación al Patrimonio Cultural** (2000), especifica que *hay circunstancias donde la reconstrucción es necesaria para la supervivencia del lugar, reconociendo que cada período histórico tiene su propio estilo particular e incluyendo la forma y el diseño, materiales y sustancias, uso y función, las tradiciones y técnicas, ubicación y entorno, espíritu y sentimiento y otros factores.*
- Otros aspectos del patrimonio metálico tanto en su vertiente mueble como inmueble se definen en la **Carta de Nizhny Tagil sobre el Patrimonio Industrial** (2003): *los restos de la cultura industrial que poseen un valor histórico, tecnológico, social, arquitectónico o científico, consistentes en edificios y maquinaria, talleres, molinos y fábricas, minas y sitios para procesar y refinar, almacenes y depósitos, lugares donde se genera, se transmite y se usa energía, medios de transporte y toda su infraestructura, así como los sitios donde se desarrollan las actividades sociales relacionadas con la industria, tales como la vivienda, el culto religioso o la educación*⁷. La mayor parte de los bienes industriales no fueron creados con una intención de perdurabilidad sino de funcionalidad. La obsolescencia, complejidad tecnológica, diversidad y composición experimental de los materiales industriales, además del gran tamaño que pueden alcanzar y la falta de mantenimiento durante la fase de abandono constituyen un desafío para su conservación. Esta carta pretende conservar o recuperar la integridad funcional del objeto en la medida de sus posibilidades.



Figura 4. Avión Dornier DO-24 Museo del Aire, Madrid.

⁷ Cronológicamente abarcaría las manifestaciones comprendidas entre la mitad del siglo XVIII, con los inicios de la mecanización, y el momento en que comienza a ser sustituida total o parcialmente por otros sistemas en los que interviene la automatización.



Figura 5. Real fábrica de metales de Riopar, San Juan de Alcaraz, Albacete.



Figura 6. Pietro y Ferdinando Tacca, Escultura ecuestre de Felipe IV (detalle). Plaza de Oriente, Madrid.

- El **Documento sobre bronce al exterior** (2004), elaborado como conclusión del Encuentro BMC2004 “Conservazione dei monumenti in bronzo all’aperto: esperienze a confronto”, es específicamente de metales, dando una serie de recomendaciones para su conservación, cuyo proyecto de intervención debe ser: *un verdadero trabajo interdisciplinar de estudios preliminares (historia, técnica y diagnóstico), del desarrollo del proyecto de restauración, de inspección y mantenimiento, de la evaluación del proyecto en sí mismo y con claras indicaciones de los deberes de cada función...*, poniendo especial énfasis en... *la reversibilidad de los materiales a emplear y en la necesidad de valorar la pátina, la verdadera plataforma interdisciplinar, tanto desde el punto de vista técnico como de diagnóstico o estético, y su papel como frontera frágil pero esencial entre el objeto y el medio que lo contiene y lo pone en valor.*
- La **Carta de Monterrey** (2006) asocia el Patrimonio Industrial con su parte intangible y documental (catálogos, manuales de instrucciones y mantenimiento, publicidad, trípticos comerciales etc.), vinculándolo a las realidades urbanas, naturales y humanas. Promueve la identificación, registro, protección y promoción de estas manifestaciones condenadas a la desaparición.
- **Terminología del ICOM para definir la conservación del patrimonio cultural tangible** (2008) aprobada en la en la XV Conferencia Trienal celebrada en Nueva Delhi. El ICOM-CC adopta aquí los términos de conservación preventiva (*evitar o minimizar futuros deterioros o pérdidas*), conservación curativa (*detener los procesos dañinos presentes o reforzar la estructura*) y restauración (*acciones aplicadas de manera directa a un bien individual y estable, que tengan como objetivo facilitar su apreciación, comprensión y uso*), que conjuntamente constituyen la conservación del patrimonio cultural tangible. Estos términos se distinguen entre sí por los diferentes objetivos que presentan las medidas y acciones que comprenden.
- Un desarrollo específico de la Carta de Nizhny Tagil y una declaración de intenciones es la **Carta de El Bierzo para la Conservación del Patrimonio Industrial Minero** (2008)

elaborada por el Instituto de Patrimonio Histórico Español (IPHE, actual IPCE) y la Fundación Ciudad de la Energía, con la participación de TICCIH-España, SEDPGYM y expertos y técnicos de la mayoría de las Comunidades Autónomas: *la idea de conferir perpetuidad a los elementos materiales e inmateriales de las minas, dotándoles de un nuevo uso o simplemente evidenciando el valor social inherente a su condición patrimonial debe constituir el motor de las políticas de investigación, conservación y difusión.*



Figura 7. Castillete, Puertollano.

- En los **Principios de Dublín** adoptados por la 17.^a Asamblea General de ICOMOS en 2011 se intenta fomentar la documentación, protección, conservación y apreciación del patrimonio industrial como parte del patrimonio de las sociedades humanas en todo el mundo, aunque va un poco más allá, ya que contempla... *una diversidad de fuentes de conocimiento y de información, incluyendo la investigación y documentado del sitio, la investigación histórica y arqueológica, análisis del material y del paisaje, la historia oral y/o la consulta de archivos públicos, de empresas o privados. Se debe fomentar la investigación y conservación de documentos, archivos empresariales, planos de edificios y muestras de productos industriales.*
- La **Carta de Burra** (de 1999 pero revisada en 2013) se puede aplicar a lugares de significado cultural, natural, indígena o histórico con valor cultural, estableciendo una guía práctica para asesorar, tomar decisiones, o acometer obras en lugares de importancia cultural, incluyendo a sus propietarios, administradores y custodios.

Se puede aplicar a elementos, objetos, espacios, lugares y puntos de vista con dimensiones tangibles e intangibles: un monumento, un árbol, un edificio o grupo de edificios, la ubicación de un evento histórico, una zona urbana o la ciudad, un paisaje cultural, un jardín, una planta industrial, un naufragio, un sitio con restos *in situ*, una carretera o una ruta de viaje, un lugar de encuentro de la comunidad, un sitio con conexiones espirituales o religiosas...

- La **Ley de propiedad intelectual** (Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, modificado por la Ley 21/2014, de 4 de noviembre de 2014) afecta a los metales contemporáneos al hablar de reproducciones o intervenciones en vida del autor, donde queda enmarcada cualquier operación de conservación-restauración: *el autor de una obra literaria, científica o artística tiene el derecho de exigir el respeto a la integridad de ésta e impedir cualquier deformación, modificación, alteración o atentado contra ella que suponga un perjuicio a sus legítimos intereses o menoscabo a su reputación*⁸.
- Los **Planes Nacionales de Conservación** son instrumentos de gestión del Patrimonio Cultural que, partiendo del estudio de los bienes que lo integran, permiten racionalizar y optimizar los recursos destinados a su conservación y difusión, asegurando en todo momento la coordinación de las actuaciones de los organismos de la Administración estatal, autonómica y local. Actualmente el IPCE está trabajando en 14 planes: Plan Nacional de Catedrales, de Arquitectura Defensiva, de Paisaje Cultural, de Patrimonio Industrial, de Abadías, Monasterios y Conventos, de Salvaguarda del Patrimonio Inmaterial, de Conservación Preventiva, de Investigación en Conservación del Patrimonio, de Patrimonio del siglo xx, de Educación y Patrimonio, de Arquitectura Tradicional, de Emergencias y Gestión de Riesgos en Patrimonio Cultural, de Conservación del Patrimonio Fotográfico y de Protección del Patrimonio Arqueológico Subacuático.

El panorama, no obstante, resulta un poco desalentador, y ya en 2011 la **Carta de los Principios de La Valetta para la salvaguardia y gestión de las poblaciones y áreas urbanas históricas** incide en su apartado de “criterios de intervención” sobre el método y rigor

⁸ En el marco de la intervención de arte contemporáneo no existen cartas específicas ni recomendaciones con carácter de norma, solventándose mediante el protocolo de actuación. Cuando las obras son intervenidas por los propios creadores se pueden crear situaciones éticas conflictivas: ¿puede mantenerse el autor en las premisas elaboradas en un periodo creativo anterior respetando su propia obra o crea una nueva obra o nuevas relaciones semánticas? Actualmente se considera que este tipo de intervenciones debe llevarla a cabo un profesional con la participación del artista –si este está vivo– para hacerle entender la función de esta, y que él establezca la intención estética original y el concepto a restaurar.

científico. Viéndose la necesidad de elaborar estándares o “libros de buenas prácticas” sobre principios fundamentales que regulen de manera consensuada, científica, unificada y común procesos, metodologías y documentación sobre conservación surge el CEN/TC3462⁹ que estudia y normaliza diversos aspectos generales sobre la conservación del patrimonio cultural. Hasta el momento ya han elaborado 21 normas¹⁰ (en España AENOR ha traducido y publicado hasta la fecha 12 de ellas) que se encuadran en 3 temas principales: directrices generales y metodología, evaluación de métodos y productos para la conservación de las obras, y condiciones ambientales tanto interiores como exteriores.

⁹ European Committee for Standardization/Technical Committees.

¹⁰ No todos los estudios de estos grupos de trabajo son aplicables a la conservación de metales.

Consideraciones previas

Los metales forman parte de todos los “tipos de patrimonio”, tanto arqueológico, como histórico, subacuático, religioso, industrial, contemporáneo, etc.; pueden encontrarse al exterior, en un museo, tener añadido a su contenido material otro inmaterial y a su composición inorgánica otra orgánica, siendo sus requerimientos de conservación diversos y a veces claramente antagónicos. En este documento se tratarán criterios generales incidiendo en los casos concretos que así lo requieran para una mayor comprensión de este tema tan amplio como complejo.

Muchos han sido los procesos de restauración y conservación aplicados a las superficies metálicas; algunos perduran y otros han modificado su metodología, o se han ido rechazando por considerarlos dañinos o poco sostenibles.

Las intervenciones deben desarrollarse siguiendo unas fases metodológicas secuenciales preestablecidas.

Fase Metodológica 1

Estudios y Diagnóstico

1.a) Investigación documental

Documentación histórica

En cualquier tipo de bien se establece la documentación como primera premisa en las labores de conservación, con la finalidad de adquirir el mayor conocimiento posible sobre las manifestaciones culturales donde se inserta el bien, sobre su materia y su entorno, sobre el propósito o los propósitos por lo que se construyó, sobre los diferentes procesos industriales que pudieron tener lugar en él, aunque sus usos hayan variado con el tiempo y sobre las distintas intervenciones de restauración o mantenimiento que se han llevado a cabo. Por eso el conservador-restaurador deberá trabajar de forma interdisciplinar con los químicos, radiólogos, documentalistas, antropólogos, arqueólogos, historiadores, artesanos, propietarios o cualquier especialista necesario para conocer las características físicas, sociales, mágicas o de cualquier otra índole del objeto y poder fundamentar las propuestas de la intervención a realizar.

En cuanto a la obra contemporánea también habrá que estudiar al propio creador con el fin de conocer la intencionalidad, filosofía y concepto que el artista ha reflejado en ella: análisis materiales, casas comerciales y año de producción de los materiales industriales y comerciales



Figura 8. Alexander Calder, *Carmen*. Chapa de aluminio, chapa de hierro y pintura. Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, Madrid.

empleados¹¹, bibliografía, escritos, manifiestos y entrevistas del artista, fotografías y vídeos de procesos artísticos¹², etc., pueden ayudar en esta investigación.

Documentación del tipo de alteraciones

Como consecuencia del acrecentamiento del patrimonio industrial y contemporáneo, están apareciendo nuevos problemas de conservación asociados a materiales metálicos que tradicionalmente no eran significativos en este campo (aluminio, acero inoxidable, aceros patinables, etc.), nuevas aleaciones, nuevas formas de procesado y sistemas compuestos de metal con plásticos u otros materiales modernos.

Por otro lado, en algunas obras, las propias características y propiedades de los metales son llevadas a su máxima expresión –brillo, ductilidad/fortaleza metálica, pulimentos, texturas, contrastes, etc.–, de forma que el propio concepto de contemporáneo y/o moderno es contradictorio con el envejecimiento. La incorporación de objetos usados, materiales degradados, procesos industriales y obras que incorporan la corrosión en la finalidad y desarrollo del concepto, chocan con la descripción de las alteraciones tradicionales.

Las investigaciones y desarrollos sobre este tipo de materiales y sistemas han ido en aumento en los últimos años y, previsiblemente, irán cada vez adquiriendo un peso mayor específico en un futuro próximo.

1.b) Delimitación operativa de la actuación y sus necesidades.

Configuración del equipo de trabajo. Plan de recursos y viabilidad

De forma previa a la intervención sobre los materiales metálicos, se deberán analizar las infraestructuras necesarias para solucionar los problemas relacionados con la estabilidad y estanqueidad del bien, de forma que el conjunto se encuentre en adecuadas condiciones en cuanto a su comportamiento estructural y su relación con el medio ambiente, con la conservación de sus valores materiales e inmateriales, especialmente en lugares en los que se aplicarán criterios de conservación *in situ*, concepto que según la mayoría de los textos y recomendaciones consultadas, se considerará prioritario.

Se plantearán los análisis y estudios necesarios antes de la intervención. En el caso de yacimientos arqueológicos, se deberán incluir valoraciones del tipo de yacimiento, de los posibles materiales y objetos exhumados, así como necesidades e infraestructuras con las que contar para la futura extracción, embalaje, almacenamiento y exposición de los bienes.

¹¹ En ocasiones los materiales siguen con las mismas denominaciones aunque cambien las formulaciones.

¹² Hay que destacar aquí la labor de **INCCA** (The Internacional Network for the Conservation of Contemporary Art) que elabora bases de datos sobre autores, con entrevistas a artistas y su trabajo, métodos y materiales empleados en el arte moderno y contemporáneo, directrices prácticas para la elaboración de planes de conservación, cuestiones jurídicas, asociadas al derecho de autor y derechos morales. Consultar: Foundation for the Conservation of Modern Art (1999). **The Decision-Making. Model for the Conservation and Restoration of Modern and Contemporary Art.**

Considerar el carácter interdisciplinar de las soluciones. Los equipos técnicos estarán integrados por personal cualificado, con titulación oficial especializada competente y/o especializado en cada una de las materias aplicables a la conservación.

El proceso de actuación deberá ser a su vez una herramienta didáctica que, a través de un discurso divulgativo, facilite la comprensión y asimilación por parte de la sociedad, favoreciendo así la accesibilidad al Patrimonio Cultural.

Viabilidad del proyecto de restauración y conservación, garantizando un uso, métodos y soluciones compatibles con la conservación. Las actuaciones deben favorecer la sostenibilidad ambiental, económica, humana y social. El patrimonio histórico puede tener un papel importante en la regeneración económica de áreas deterioradas o en declive; la adaptación y reutilización de edificios industriales, contribuye al desarrollo sostenible. Los nuevos usos deben respetar el material significativo, manteniendo los patrones originales de circulación y actividad, siendo tan compatible con el uso original o principal como sea posible.

Valoración económica de los gastos materiales y de personal.

1.c. Investigación exploratoria y descriptiva

Las técnicas analíticas se realizan para conocer la estructura y composición de los materiales metálicos (microscopios ópticos y estereoscópicos, radiografía, endoscopia, SEM-EDX, fluorescencia de Rayos X [XRF], etc.), para caracterizar los productos de corrosión (microscopía óptica, espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier [FTIR], espectroscopía Raman, difracción de rayos X [XRD], difracción de rayos X [XRD]), y comprobar su estabilidad (espectroscopia de impedancia electroquímica [EIS]).

Un campo de permanente actualidad es el desarrollo de técnicas que nos permitan obtener un mejor conocimiento del objeto con el menor impacto posible sobre el mismo. Se han ido desarrollando diversas técnicas tanto espectroscópicas –tales como XRF, *Laser induced breakdown spectroscopy* (LIBS) o Raman–, como electroquímicas o de imagen en distintas longitudes de onda, para obtener equipos cada vez más portátiles y con mejores prestaciones analíticas. Por otro lado, grandes equipos en instalaciones singulares, como el sincrotrón –aceleradores de partículas– o reactores nucleares usados como fuentes de neutrones están siendo cada vez más utilizados para analizar bienes culturales metálicos por técnicas tales como *particle induced X-ray emission* (PIXE), *X-ray absorption spectroscopy* (XAS) o la tomografía y la difracción de neutrones, obteniendo información de los objetos que hasta ahora no era posible.

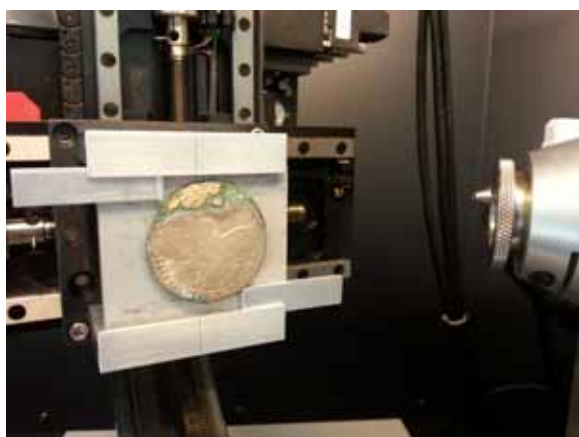


Figura 9. Análisis por difracción de rayos X (XRD) de productos de corrosión de una moneda de plata.

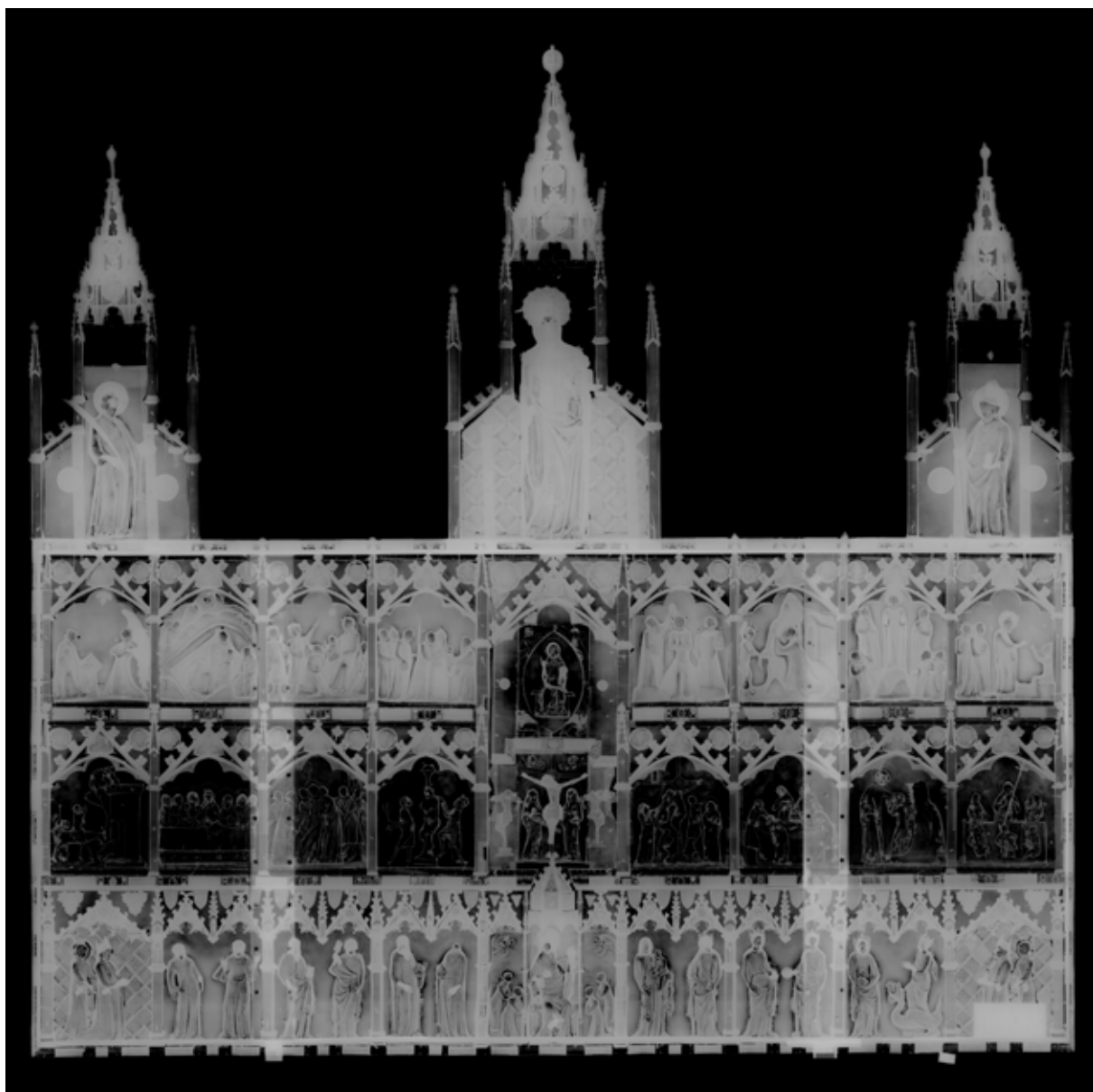
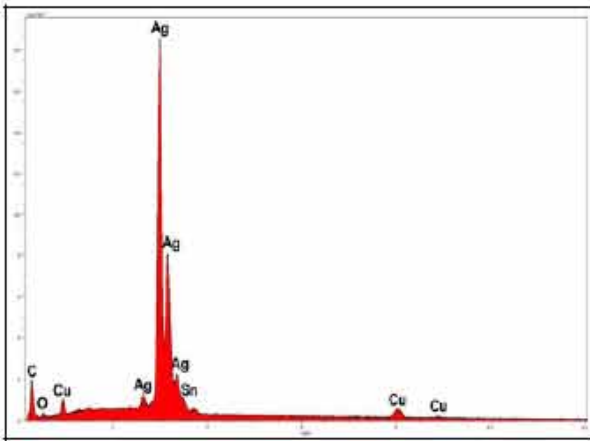


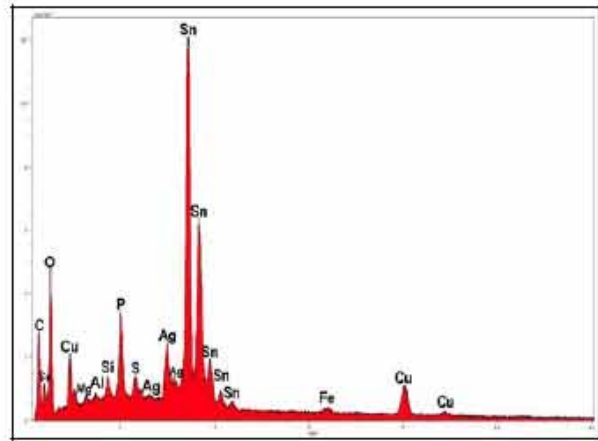
Figura 10. Radiografía del retablo de plata del Altar Mayor de la Catedral de Girona.



Figura 11 (izquierda). Radiografía de una contera de oro de la necrópolis de Castiltierra (Segovia). Figura 12 (derecha). SEM-EDX de un collar islámico.



Microanálisis EDX realizado sobre la fase principal.



Microanálisis EDX realizado sobre la fase alterada.

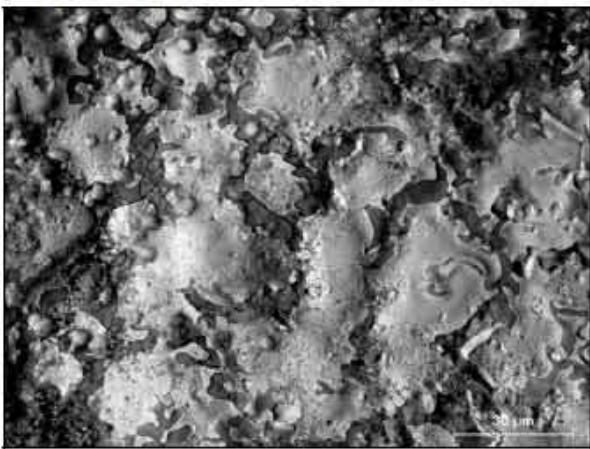
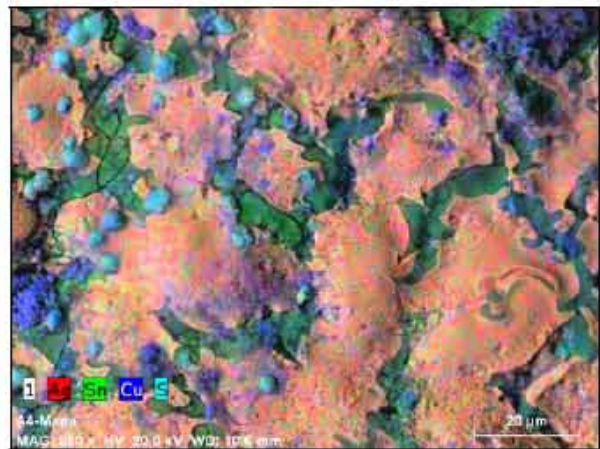


Imagen BSE de detalle de la superficie de la chapa decorativa. Las zonas oscuras se encuentran enriquecidas en estaño y alteradas.



Distribución de los principales elementos en la anterior imagen.

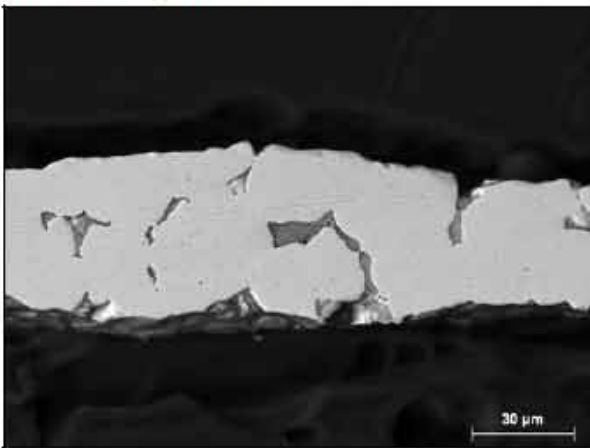
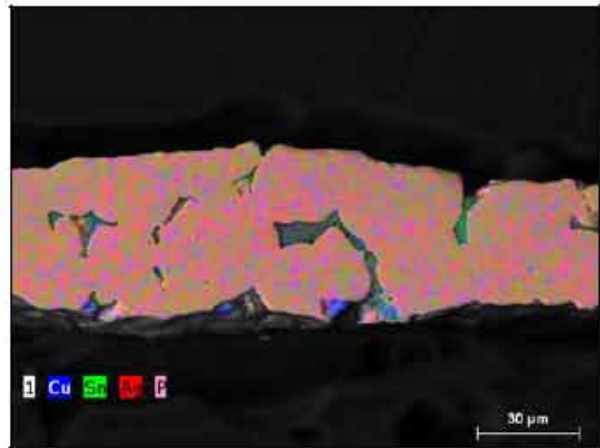


Imagen BSE de la sección transversal de la chapa.



Distribución de los principales elementos en la anterior imagen.

Figura 13. Análisis de una decoración de plata por medio de microscopía electrónica de barrido acoplada con microanálisis mediante espectrometría de dispersión de energías de rayos X (MEB-EDX).



Figura 14. Caracterización por impedancia electroquímica (EIS) de la capacidad protectora de pátinas y recubrimientos en las esfinges de la fachada del Museo Arqueológico Nacional, Madrid.

No obstante, deben prevalecer los métodos de análisis no destructivos, realizados con técnicas no invasivas. En ocasiones, expresamente justificadas, se podrá extraer una micromuestra lo más representativa de la totalidad del objeto. Deberán tenerse en cuenta las limitaciones de los métodos de análisis, y la necesidad de combinar dos o más de ellos para obtener resultados más precisos. El orden de prioridad de aplicación de los diferentes análisis resulta necesario, ya que unos pueden interferir con otros.

Se debe tratar de obtener información novedosa y relevante para la toma de decisiones sobre la conservación de los bienes. Estas decisiones sobre los estudios a realizar se deberán tomar en diálogo con científicos especialistas en las técnicas experimentales y su aplicación en patrimonio cultural. Idealmente, los estudios científicos no se deberían limitar a las fases previas, sino servir de apoyo al conservador-restaurador durante todo el proceso de intervención.

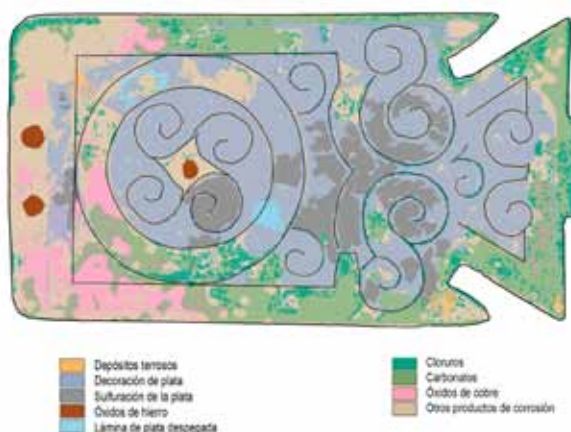


Figura 15. Mapa de alteraciones de un broche de cinturón de aleación de cobre con decoración de plata.

Fase Metodológica 2

Ejecución y Tratamiento

2a) Propuesta de actuaciones de C+R

Las intervenciones se plantearán dentro de un proyecto global de conservación, que incluya tanto la analítica y los tratamientos iniciales previos a la estabilización de los procesos de alteración, como la aplicación de unos tratamientos de restauración y conservación que comprendan planes para la conservación preventiva a corto, medio y largo plazo. Todo cambio inevitable debe ser documentado, y los elementos significativos que se eliminen deben ser registrados y almacenados de forma segura.

Los productos empleados han de estar debidamente etiquetados e ir acompañados de su correspondiente ficha técnica en la que se especifique la composición, fecha de fabricación y caducidad. Se seguirán las recomendaciones de uso indicadas por el fabricante, así como las derivadas de los ensayos científicos realizados. Además, en el transcurso de las intervenciones, se aplicarán los sistemas de control de calidad que se consideren más adecuados para cada caso, tanto en los procesos como en los tratamientos y materiales utilizados.

Se recomienda igualmente promover los estudios e investigaciones sobre nuevos materiales que deben ser compatibles con los del bien cultural, estar científicamente contrastados y tener en consideración el criterio de reversibilidad.

2b) Conservación y Restauración. Fases (metodología)

Desmontaje

Operación previa con el objeto de separar las distintas piezas de un conjunto.



Requisitos y recomendaciones

Sólo se efectuará en el caso de que fuera estrictamente necesario para efectuar los tratamientos de conservación y facilitar los trabajos de limpieza. El desmontaje implicará la numeración de elementos, siendo conveniente clasificar cada parte por separado dejando reseñada su colocación mediante croquis y fotografías. En el momento del montaje se seguirá el orden del desmontaje en sentido inverso, colocando las piezas de acuerdo a las marcas de numeración, siempre que no haya sufrido alguna modificación o intervención que impida su colocación original.

Figura 16. Desmontaje del Relicario de Santa Lucía de la Catedral de Toledo, con el objeto de estabilizar su estructura interna y facilitar la limpieza.

Limpieza

La limpieza es una de las fases más importantes en la intervención de un objeto metálico. De ella depende su apreciación estética, su lectura histórica y tecnológica y su futura estabilidad físico-química y estructural.

Al ser los metales reactivos con el entorno, una vez concluido el ciclo de creación del objeto, comienza a originarse una nueva superficie¹³. Hay que tener en cuenta que un metal no es nunca homogéneo debido a las impurezas de la aleación, los defectos cristalinos o las intersecciones entre los granos, lo que hace que las agresiones externas les influyan de distinta forma y con diferente intensidad.

La corrosión es un conjunto de procesos físico-químicos entre el metal y el medio, que les conduce a un estado mineral termodinámicamente más estable. Su composición es muy compleja, ya que puede ser diferente para un mismo metal en un mismo medio, pudiendo sufrir modificaciones visibles o invisibles, formando depósitos minerales diferentes, desde el punto de vista de su naturaleza química, su estructura o forma. Estas capas pueden tener propiedades protectoras, por lo que su eliminación es posible que reactive un proceso de corrosión que se encontrase estabilizado.



Figura 17. Estado de conservación de una de las placas de un pectoral en aleación de cobre.

¹³ Se consideran “pátinas” naturales aquellas transformaciones del material, producidas por causas naturales que aportan la huella del paso del tiempo, y “pátinas” artificiales aquellas capas aplicadas intencionadamente en el pasado, con fines protectores o estéticos.

Requisitos y recomendaciones

Tras el estudio analítico previo, se realizarán pruebas de limpieza para evaluar los resultados, lo que nos permitirá determinar la viabilidad e idoneidad de los métodos a utilizar, los procedimientos de aplicación y los rangos de trabajo.

La decisión de retirar uno u otro compuesto, de seguir uno u otro estrato, no debe ser una opción subjetiva. Es un proceso irreversible que debe realizarse con todas las garantías posibles y detenerse cuando se pueda producir riesgo de deterioro, anteponiendo, en la mayor parte de los casos, los criterios dirigidos a la estabilización de la corrosión ante los estéticos¹⁴.

La limpieza debe ser homogénea, sin reinterpretar el bien cultural ni dar lugar a falsos históricos. Las “pátinas”, dorados, revestimientos y añadidos históricos deben conservarse; solo de manera excepcional, y por causas justificadas, podrán eliminarse estos últimos si su permanencia supone un riesgo para la conservación del objeto, tras una decisión colegiada y una documentación exhaustiva¹⁵.



Figura 18. Efebo de Antequera. Primeras etapas de la limpieza.



Figura 19. Limpieza de los entorchados de plata en un tejido.

Pueden realizarse con uno o varios métodos sucesivamente combinándolos o no. Siempre se recomienda utilizar instrumentos de aumento visual, como lupas, microscopios USB, etc., y si el tamaño de la pieza lo permite se realizará bajo binocular o microscopio óptico.

Requieren también especial atención los acabados propios de algunos metales etnológicos, científicos o industriales. Pueden consistir en aceites, imprimaciones o pintura, aplicados con función protectora y concebidos, en algunos casos, para su reposición periódica, metales

¹⁴ En el arte contemporáneo es fundamental el aspecto estético de la obra por lo que la alteración del metal desvirtúa claramente la idea original, al modificar superficies y texturas. La intervención en muchas ocasiones implica pulir, repintar o patinar de nuevo, incluso haciendo desaparecer las capas originales (lo que en este caso particular no afecta su autenticidad) para re-establecer la idea del autor. Paralelamente queda descartada la actuación sobre procesos de alteración superficial y depósitos que estén previstos o programados y formen parte del concepto y desarrollo del objeto.

¹⁵ “Las restauraciones de los bienes respetarán las aportaciones de todas las épocas existentes. La eliminación de alguna de ellas sólo se autorizará con carácter excepcional y siempre que los elementos que traten de suprimirse supongan una evidente degradación del bien y su eliminación fuere necesaria para permitir una mejor interpretación histórica del mismo. Las partes suprimidas quedarán debidamente documentadas.” Art. 39. Párrafo 3. Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español (BOE de 29 de junio de 1985).

oxidados industrialmente¹⁶ o acabados reglamentados en material ferroviario o naval. Es necesario extremar las precauciones al acometer la limpieza de superficies especulares, niquelados, cromados, pavonados, dorados, plateados o estañados etc., muy susceptibles de rayarse.

En la limpieza de superficies no se recomienda la utilización de técnicas que erosionen o provoquen daños mecánicos. Se evitará la eliminación sistemáticas de recubrimientos y productos de corrosión con chorreados industriales.

La degradación de los productos necesarios para el adecuado funcionamiento de las máquinas puede afectar a las piezas metálicas, como es el caso de los lubricantes o los compuestos derivados de glicoles, empleados como refrigerantes, que generan ácidos orgánicos y se convierten en corrosivos. No obstante no deben eliminarse sino ser reemplazados por otros nuevos más inocuos, diseñados para almacenamiento a largo plazo, o al menos fluidos frescos o grasas y aceites con las mismas especificaciones y características. Por motivos de seguridad sí que deben extraerse las baterías y los combustibles.

Métodos de limpieza

Limpieza mecánica

La eliminación de los productos de alteración ajenos al objeto utilizando la energía mecánica. Para llevarla a cabo se utilizan bisturís y algunos utensilios odontológicos, tornos (micromotores), puntas vibroincisoras, o proyección a baja presión de abrasivos de diversa granulometría: vegetales (cáscara de nuez, almendra...), plásticos, microesfera de vidrio, etc. En el caso que se utilicen micromotores las distintas brocas abrasivas tienen una composición en función de su dureza (cepillos de cerda, caucho, silicona, cepillos metálicos, corindón), tamaño, forma y dureza adecuada para el producto a eliminar¹⁷. Asimismo se debe poder regular en todos los casos la presión, velocidad, ángulo de incidencia, fuerza, capacidad de penetración y tiempo de aplicación.



Figura 20. Limpieza con micromotor y broca de caucho.



Figura 21. Limpieza con microabrasímetro y microesfera de vidrio.

¹⁶ Como es el caso de los aceros patinables (tipo Cor-ten).

¹⁷ Tienen un código de colores para indicar su poder abrasivo y su dureza.

Láser

El láser es un tratamiento físico. Su característica más importante es la capacidad de concentrar una gran cantidad de energía de forma puntual, por medio de pulsos de muy corta duración (microsegundos, nanosegundos o femtosegundos) y con un tiempo de separación entre pulso y pulso también muy corto, consiguiendo altas temperaturas instantáneas y una serie de fenómenos que englobamos con el nombre de ablación y cuyo resultado es la eliminación de la materia irradiada. Hablaremos de ablación fotoquímica cuando utilizamos láseres que emiten en la región del ultravioleta, y de ablación fototérmica en los láseres de radiación visible o infrarroja. Estos últimos láseres son los más utilizados y de mejores resultados en la limpieza de superficie metálicas.

La longitud de onda, energía (fluencia), duración del pulso láser y frecuencia de disparo, van a condicionar los procesos que tienen lugar en la interacción láser-materia. Es clave hacer uso de equipos láser que permitan programar con antelación estos parámetros, pues cada tipo de metal necesitará su propio ajuste.

Como el trabajo con láser no implica contacto físico con el material a tratar, parece muy adecuado para material arqueológico de hierro, plomo, dorados, material mixto y para objetos muy deteriorados ya que se evitan las vibraciones y tensiones que se producen con los métodos mecánicos o manuales, y para cualquier tipo de residuo que pueda dejar la limpieza química.

Las condiciones operativas estarán en función del grosor de las costras de corrosión y de la composición del material, ya que materiales orgánicos o inorgánicos absorben a longitudes de onda distintas. Hay que considerar también el color, espesor, densidad, rugosidad, capacidad calorífica y conductividad térmica del sustrato. De un modo general, cada tipo de material tiene un nivel o umbral a partir del cual la irradiación láser produce efecto sobre los productos de corrosión.

Los mejores resultados de limpieza se obtienen, como en otros casos, combinando el láser con otros métodos de intervención.



Figura 22. Limpieza mediante láser.



Figura 23. Limpieza mediante ultrasonidos.

Métodos químicos

Los métodos químicos de limpieza se basan en la utilización de disolventes o soluciones que disuelven, transforman o convierten en solubles algunos compuestos. La utilización de métodos químicos tiene como inconveniente la dificultad para su control. Pueden producir cambios superficiales en el metal y en su coloración, o afectar a los objetos con fisuras o muy mineralizados.

No obstante algunos tratamientos de este tipo se pueden llevar a cabo con limpiezas selectivas. Requieren un exhaustivo control durante todo el proceso (sistema de aplicación, tiempo de contacto, pH de la solución)¹⁸ ya que se pueden generar nuevos productos nocivos, provocando daños irreversibles. Debe acompañarse de neutralización y un posterior seguimiento para determinar incidencias¹⁹.



Figura 24. Catas de limpieza química. Reja de la Capilla de Scalas. Catedral de Sevilla.

¹⁸ Puede aplicarse de manera superficial, por inmersión, en seco, combinada, con geles...

¹⁹ Incluso los limpiametales comerciales de uso doméstico pueden ser dañinos si son usados de manera incorrecta, si se usan en grandes cantidades o si no se eliminan los restos. Los residuos dejados por estos productos pueden no ser visibles hasta que no se produce la alteración.

Tratamientos electroquímicos

Se basan en la transformación de los productos de corrosión por medio de corrientes eléctricas, bien generando una pila con el propio objeto, bien aplicando una fuente de potencial externa. Desde principios de este siglo, han resurgido en su aplicación en patrimonio cultural metálico, tanto en su vertiente de técnicas analíticas (ha habido desarrollos interesantes, en análisis por voltametría de micropartículas o en la aplicación de la espectroscopía de impedancia electroquímica [EIS] *in situ*), como en su vertiente de técnicas para el tratamiento; en esta última aplicación, el avance clave ha sido el control potencioestático de los tratamientos, tanto de manera generalizada como, más recientemente, para su uso en tratamientos localizados utilizando “celdas y lápices electroquímicos”.

Plasma gaseoso

El *plasma* gaseoso es un gas en forma ionizada que puede crearse de manera artificial. Desde hace unos años se ha utilizado como tratamiento de conservación en piezas metálicas para limpiezas y eliminación de cloruros, ya que vaporiza los elementos orgánicos quedando las costras de corrosión porosas y por tanto más debilitadas y fáciles de eliminar por medios mecánicos. Últimamente han surgido proyectos y trabajos de investigación muy interesantes para el desarrollo de antorchas de plasma frío que permiten hacer tratamientos localizados fuera de una cámara cerrada.

Bioregeneración

La bioregeneración o tratamiento por bacterias sulfatoredutoras en ambientes anóxicos, es otra de las metodologías que se está aplicando en la conservación de algunos metales, sobre todo en las fases de limpieza de algunos hierros.

Nanotecnología

La nanotecnología tampoco es ajena a este ámbito; en fase experimental aún, se trabaja en la actualidad con nanogeles para limpieza, o soluciones biocidas, consolidantes o hidrofugantes. Se está experimentando también con sistema de protección, por deposición de películas de consolidación, a base de nanosferas por *sputtering*.

Desalación (Decloruración)

Su objeto es eliminar las sales solubles. En el caso de los metales las más perjudiciales son los cloruros. Algunos métodos de limpieza también sirven como desalación²⁰.

Requisitos y recomendaciones

En el caso de decloruraciones hay que tener muy en cuenta la duración del tratamiento, la cantidad de cloruros extraída, las degradaciones que puede provocar en el objeto al descohexionar las alteraciones superficiales y la posibilidad de reproducción de la intervención.

²⁰ Como por ejemplo el plasma o el láser, aunque este último solo vaporiza los halógenos (cloruros, bromuros etc., superficiales).

Métodos

En objetos procedentes de medios marinos puede realizarse una desalación previa con agua dulce primero para acabar con la desionizada. En el caso del hierro, la protección se basa fundamentalmente en una desalación por inmersión en baños de sulfito alcalino²¹ como paso previo a un tratamiento de inhibición. La aplicación de corrientes eléctricas puede ayudar a la extracción de cloruros, tanto por la reducción de compuestos clorurados como por electroforesis. Se comprobará la eficacia de la intervención por medio de un conductivímetro²².

La novedad más significativa de los últimos años en cuanto a la decloruración es la aplicación de fluidos subcríticos, que ha recibido mucha atención en los últimos tiempos y ha despertado grandes expectativas por sus prometedores resultados. Aunque resulta viable únicamente para piezas de reducido tamaño.



Figura 25. Decloruración. Monedas de la fragata *Nuestra Señora de las Mercedes*, Cartagena, Murcia. Comprobación del contenido de sales por medio de un conductivímetro.

²¹ Una disolución de hidróxido de sodio y sulfito de sodio.

²² Varios autores recomiendan como umbral seguro una cantidad de sales de 100 ppm., o cuando su contenido, según las mediciones, resulte constante.

Inhibición (Estabilización)

Los inhibidores son elementos que, aplicados en pequeñas cantidades, reducen la tasa de corrosión al ralentizar o impedir la interacción del metal (las reacciones electroquímicas) con el medio. Hay diferentes inhibidores que se emplean con distintos criterios: por su acción anódica, catódica o mixta, por su acción oxidante, por su modo de actuación (formación de una película o por absorción), por su naturaleza química (orgánica o inorgánica), por su mayor o menor seguridad, por su modo de empleo, etc.

En el caso del cobre y aleaciones se utilizan inhibidores de origen orgánico, que forman películas muy finas produciendo una disminución en la velocidad de corrosión al ralentizar la reacción anódica, o catódica, o ambas. El inhibidor orgánico más eficiente y conocido para este tipo de metales es 1,2,3-benzotriazol (BTA) y sus derivados a base de nitrógeno, como el 2-mercaptobenzothiazole (MBT). También el AMT 2-amino-5-mercapto-1,3,4-tiadiazol que contiene azufre, nitrógeno y oxígeno se utiliza tanto en fases de limpieza como con función de inhibición.

Para el hierro, tradicionalmente, se han utilizado los taninos y los fosfatos o el nitrito de dicitohexilamina en objetos arqueológicos e históricos.

Las investigaciones recientes se encaminan al desarrollo de sistemas más eficientes, con un menor impacto sobre la salud y el medio ambiente. Por desgracia en muchos casos los mejores sistemas no son inocuos. Cabe destacar, como avance reseñable, el buen resultado que se ha estado obteniendo con tratamientos a base de carboxilatos de cadena larga (heptanoato, decanoato, dodecanoato...) que han mostrado buenos resultados sobre diversos metales (plomo, cobre, hierro, plata, zinc), tanto en ensayos de laboratorio como en aplicación sobre bienes metálicos reales.

Otros desarrollos, utilizando técnicas novedosas de aplicación como el ya mencionado plasma, sol-gel o monocapas autoensambladas (SAMs), han mostrado ciertos resultados prometedores sobre probetas y objetos pequeños como monedas, pero presentan dificultades para su aplicación sobre objetos más grandes y complejos. No obstante, en ciertos casos concretos abren posibilidades que no se deberían descartar.

Los inhibidores de corrosión deben cumplir una serie de requisitos básicos:

- 1.- Mínima interacción con el aspecto estético del objeto.
- 2.- Durabilidad y estabilidad.
- 3.- Debe adsorber o estar químicamente unido al sustrato.
- 4.- Eficaz a un rango de Ph entre 2 y 8.
- 5.- Reversible.
- 6.- Método sencillo de aplicación y fácil reposición.
- 7.- Y por último, una baja toxicidad tanto para el restaurador como para el medioambiente.

Secado

La eliminación de agua es fundamental, puesto que es uno de los factores más comunes en el desarrollo de la corrosión. En ocasiones se combina con los procesos de desengrasado.

Requisitos y recomendaciones

El secado se realiza colocando las piezas en papeles secantes o celulosa evitando que queden gotas de agua en la superficie que darían lugar a manchas o cercos en los metales pulidos.

Métodos

Puede ser tanto al aire, con baños con disolvente o más frecuentemente en estufa. Si el secado es con estufa eléctrica la temperatura dependerá del tipo de metal hasta un máximo de 105° C.

Adhesión

La unión o reforzamiento de elementos tiene por objeto la restitución de la cohesión mecánica perdida, imprescindible para la supervivencia de la pieza.

Requisitos y recomendaciones

Cada adhesivo tiene un ámbito de aplicación que depende de sus propiedades mecánicas y químicas, tanto antes como después de producirse su endurecimiento. Para la adhesión de objetos

de patrimonio los productos a emplear deben ser compatibles con los materiales constituyentes, además de estables, inertes e inalterables y no ser más resistentes que el propio objeto, con el fin de que si por cualquier motivo se rompen lo hagan justamente por la unión.



Figura 26. Adhesión de la empuñadura de un puñal por medio de epoxi teñido.

No se debe experimentar con marcas o productos nuevos que no hayan sido testados previamente ya que es necesario conocer con antelación cuáles son sus características: cohesividad, viscosidad, rapidez, posibles reacciones físico-químicas adversas, aspecto y, por último, cómo va a ser su envejecimiento y potencial reversibilidad.

El problema de la reversibilidad es evidente; es fundamental que los adhesivos puedan ser eliminados en un futuro, ya que su envejecimiento conlleva cambios de coloración a la vez que pérdidas de cohesión y de poder adhesivo. Su eliminación no debe producir alteraciones ni pérdidas materiales en el objeto.

Métodos y materiales

Generalmente se utilizan adhesivos epoxi en elementos estructurales, o cianoacrilatos en el caso de fijaciones o uniones de fragmentos de poco grosor ya que, a pesar de ser insolubles, es posible su reversibilidad mediante disolventes o calor. Los adhesivos usados tradicionalmente en restauración para materiales porosos no son de gran utilidad en estos casos.

Soportes: Cuando la adhesión no sea suficiente, puede recurrirse a sistemas de refuerzo o montaje que contemplen la sujeción de los elementos fracturados y proporcionen la suficiente estabilidad mecánica. Se realizarán con materiales inertes y en ningún caso con elementos metálicos sin aislar que puedan formar pilas.

Soldaduras: Solo con las debidas precauciones y excepciones y cuando los anteriores sistemas de reconstrucción no sean adecuados puede recurrirse a la técnica de la soldadura.



Figura 27. Pinjante de la Salamandra. Instituto Valencia de Don Juan, Madrid.

En el caso de los metales arqueológicos está totalmente desaconsejado por alterar la microestructura original del metal; no obstante las uniones históricas se respetarán siempre que no creen tensiones o daños físicos-químicos o mecánicos y su eliminación no suponga un mayor deterioro.

Si el elemento fragmentado es un objeto civil o religioso, en uso, es parte sustentante e imprescindible de una estructura o corre peligro de desaparecer, puede valorarse la realización de una soldadura; si es necesario aporte de material este debe ser como el material original. En el caso de que la zona fragmentada esté dorada, plateada, patinada o pavonada, en ningún momento se podrá recurrir a su unión por medio de la soldadura convencional, ya que la aplicación de calor eliminará este acabado.

La soldadura láser es la menos invasiva. Frente al inconveniente de ser un procedimiento irreversible en tanto en cuanto produce una fusión mínima del metal, tiene a su favor la posibilidad de controlar el daño tér-

mico colindante y de reducir la zona afectada al mínimo, con un grado de resistencia en la unión aceptable para su conservación. Se realizará únicamente en las zonas donde sea estrictamente imprescindible para asegurar la estabilidad de la obra.

Reintegraciones, reposiciones, reoprismaciones, reparaciones, re-creaciones, sustituciones parciales y generales y segundas materializaciones

La reintegración matérica / cromática se aplica sobre lagunas y fisuras en los casos en que se necesite recuperar la morfología, aspecto o cohesión del objeto, evitando que el material empleado se superponga a la superficie original.

Requisitos y recomendaciones

En objetos museológicos los materiales de relleno deben ser de naturaleza distinta del original, reversibles, de composición conocida, compatibles con el soporte, libres de sales y con las adecuadas características de porosidad, resistencia y adherencia. Su entonado puede ser tanto en masa como superficial empleando pigmentos (acuarelas, tierras, acrílicos etc.), químicamente estables y que no produzcan variaciones cromáticas a medio y largo plazo; si es necesario pueden añadirse aditivos o espesantes inocuos y de probada estabilidad.



Figura 28. Reintegración volumétrica en la empuñadura de un puñal. Antes y después.

Muchos de los objetos que han tenido un uso continuado desde su origen, como suele suceder con los litúrgicos asociados a valores y tradiciones inmateriales, habrán sido reparados varias veces por personas no profesionales en conservación, lo que puede haber modificado o dañado su aspecto o estado. Los añadidos históricos se mantendrán si no suponen un daño para los objetos. En el caso de que sea necesario hacer reintegraciones de elementos originales (en el caso de pérdidas estructurales de elementos sustentantes), se elaborarán con materiales sintéticos inertes o del mismo metal para evitar la formación de pilas galvánicas²³.

Se dan situaciones paradójicas en objetos de patrimonio industrial, donde parte esencial de su valor reside en el mantenimiento de su funcionalidad, o en el arte contemporáneo donde se ve necesario mantener la intención del autor y el significado de la obra, llevándose al límite las premisas de la restauración “convencional”, al rehacer y sustituir lo que sea preciso, aspecto que no puede desvincularse del valor adquirido en el mercado. En otros ámbitos de la conservación, la pérdida del material original que supone la reposición de elementos, afecta a la autenticidad del bien, existiendo posturas diferentes e incluso contrapuestas entre los profesionales sobre la necesidad de establecer unos criterios claros para estos casos especiales. No obstante, se está empezando a cuestionar, sobre todo en los casos de importantes sustituciones de gran parte de la materia, en objetos que forman parte de un montaje o de una instalación de arte contemporáneo, que empiezan a valorarse como documentos históricos de una determinada manifestación.



Figura 28. Aplicación de la capa de protección a un acero en la cámara de barnizado.

Sistemas de consolidación y protección

Tienen como objetivo la restitución de la cohesión mecánica/física y química estructural y superficial del metal, buscando la máxima penetración del producto y la adhesión entre la zona alterada y sana, con el fin de crear una barrera frente al medio.

Requisitos y recomendaciones

La consolidación, en ocasiones, es necesaria como paso previo a una limpieza, en aquellos casos en que el soporte o los productos de corrosión descohesionados puedan dar lugar a desprendimientos, separación de láminas, exfoliación. Es aconsejable hacer la consolidación sobre superficies limpias.

Las capas de protección deben ser estables y no interactuar químicamente con el metal, deben garantizar cierta durabilidad y total reversibilidad y no interferir u ocultar con su aspecto el de la superficie original. Su

²³ Los metales que se utilicen tienen que ser compatibles con el original. Si se trata de cobre la reintegración se hará con metal con la misma composición (cobre puro, bronce, latón...). Si es hierro el metal a utilizar debe ser hierro dulce (con bajo contenido en carbono) sin plomo ni cromo y con el menor número de aditivos anti corrosión. Si es plata se reintegrará con plata de similar aleación...

penetración es limitada y está en función de las características del soporte, del producto utilizado y de la técnica de aplicación²⁴.

Métodos y materiales

En general se utilizan homopolímeros y copolímeros cuya estructura principal se deriva de los ácidos, acrílico, metacrílico o butacrílico y de sus ésteres²⁵, a distintas concentraciones (comenzando por las más bajas) y en diversos disolventes, dependiendo de su mayor o menor volatilidad y/o ceras microcristalinas ²⁶de mayor o menor punto de fusión.

Para el caso de objetos industriales o no musealizables la protección implica el patinado, pintura, galvanizado etc., que actúa tanto de acabado como de aislamiento del medio corrosivo.

En determinados casos donde no sea posible controlar acciones vandálicas como pintadas o graffitis, se valorará la posibilidad de aplicar, en las superficies que lo requieran y toleren, un “tratamiento antigraffiti” que se realizará siempre con materiales aptos y reversibles.



Figura 30. Eduardo Chillida, *Lugar de Encuentros II*. Ministerio de Cultura, Madrid.

²⁴ Puede ser temporal o final, superficial, local, por inmersión etc.

²⁵ El Paraloid es de las más utilizadas, tanto el B72 como el B44, ya que son de resinas incoloras y bastante estables. El Paraloid B-44 + BTA junto con otros aditivos forma parte de la formulación del Inctalac o Inctal.

²⁶ Las ceras microcristalinas presentan formulaciones sintéticas similares a las ceras de origen natural pero son más estables. No suelen aplicarse directamente sobre el metal porque aunque son hidrórepelentes y matean las superficies brillantes que dejan las resinas sintéticas, son irreversibles o al menos muy difíciles de eliminar cuando endurecen y tienen escasa estabilidad ante los factores medioambientales.

Soportes / Montajes

Se realizan tanto para objetos individuales como para conjuntos con el fin de darles estabilidad, protección y mantener su unidad. Se emplean en embalajes, almacenamiento y exposiciones.



Figura 31. Timaterio. Necrópolis de Les Ferreres, Calaceite, Teruel. Soporte de metacrilato.

Requisitos y recomendaciones

Los soportes no deberán presionar ni producir ningún tipo de abrasión o rozamiento, debiendo ser además resistentes, discretos, inertes, estables, durables y manipulables. Tampoco podrán ser de metales cuya interacción pueda producir pilas galvánicas, o de maderas no tratadas que puedan emitir contaminantes.

Métodos y materiales

Los materiales en contacto con la superficie del objeto deben ser estructuralmente resistentes y no producir abrasión, teñido o rozamiento. Los montajes no serán forzados, inestables ni causantes de estrés físico.

Se utilizarán materiales inertes, químicamente estables, que no emitan gases, ácidos o sustancias que puedan causar algún deterioro. Por lo tanto se evitarán ciertas maderas como roble, castaño, haya, aglomerado, algunos contrachapados, esmaltes oleosos, pinturas alquílicas, adhesivos a base de PVA, urea-formaldehído o fenol-formaldehído, y selladores de silicona, al igual que algunas sustancias de origen proteínico como piel, cuero, lana, rayón, seda o terciopelos por su emisión de azufre. Los soportes metálicos deberán aislarse para evitar la formación de pares galvánicos.

Los objetos montados en soporte, se protegerán de manipulaciones innecesarias y de desmontajes sin la aprobación de la entidad que lo tutela.

Conservación Preventiva/ Almacenamiento

Resulta relevante el hecho de que ciertos contaminantes, mayoritarios y conocidos como agentes fundamentales del deterioro del patrimonio metálico (especialmente el SO_2), han disminuido de manera radical sus concentraciones en muchas ciudades como consecuencia de las políticas medioambientales implementadas desde hace un par de décadas. Desde el punto de vista de la conservación

preventiva, otros que eran secundarios como los COV²⁷ particularmente dañinos para objetos de cobre, plomo y cinc, han pasado a desempeñar el papel protagonista, concitando una mayor atención por parte de la comunidad científica. La abundancia de estos compuestos en atmósferas interiores se debe a la existencia de numerosos materiales que los desprenden, y a su acumulación en recintos cerrados y poco ventilados como son, por ejemplo, las vitrinas de los museos²⁸.

Ni en el almacenamiento, ni en exposición, se suelen agrupar los objetos de acuerdo con sus características. Frecuentemente en una misma sala o en la misma vitrina coinciden materiales muy diversos, dificultando el equilibrio de las condiciones ambientales favorables para todos y planteando serias dificultades de conservación, ya que la humedad relativa para metales no debería superar el 35%, lo que es poco viable para metales compuestos y otros materiales. Es recomendable el uso de sistemas de control de humedad y temperatura ambiental, evitándose las fluctuaciones de humedad y temperatura (debido a su relación con la subida o bajada de los porcentajes de HR). El nivel de iluminación recomendado para el mantenimiento de las capas de protección está entre 150 a 200 lux, con un componente de radiación inferior a 75 m W/lumen.

Si es necesario manipular los objetos debe hacerse con guantes no transpirables, evitándose siempre el contacto con las manos.

Para su almacenamiento las piezas pequeñas (perfectamente secas), se colocarán envueltas en papel japonés, dentro de recipientes plásticos adecuados de cierre hermético. Dentro de cada recipiente, y nunca en contacto, pueden colocarse elementos absorbentes de oxígeno²⁹, estabilizadores de humedad y elementos anticorrosivos³⁰.

En aquellos casos en que el objeto esté situado al exterior, hay que evitar el contacto directo con el suelo mediante soportes/estructuras de apoyo, solados, plataformas o cimientos con drenaje. Se evitará la posibilidad de acumulación de agua, y la exposición a salpicaduras, riegos, etc. En caso de objetos pesados se emplearán estructuras reforzadas. Asegurar la estanqueidad de juntas y uniones; bloquear frenos y emplear sistemas para inmovilizar vehículos.

Los objetos con elementos orgánicos (madera, tejidos, tapicerías, cuero o piel, elementos de plástico o caucho de sellados y juntas...), son muy susceptibles ante el biodeterioro y la humedad. El caucho es especialmente sensible a la humedad, pudiendo comprometer la conservación de otros elementos. En casos debidamente justificados, podría valorarse la opción de sustituir las piezas de caucho conservando los originales (o muestras), debidamente documentados.

En algunos casos podrán instalarse cubiertas, voladizos o fundas protectoras, preferiblemente colocadas sobre una pequeña estructura para evitar el contacto directo con la superficie y permitir circulación de aire (evitar condensación).

En el caso de bienes culturales en uso, como el caso de los objetos litúrgicos, ceremoniales o rituales, instrumentos musicales, etc. se aconseja el uso de réplicas. Cuando esto no sea posible, se hará un estudio de medidas a implementar. Estas incluirán, entre otras, la reducción

²⁷ Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC en inglés) procedentes tanto de la evaporación de disolventes orgánicos como por el uso de combustibles o transportes. Entre los más peligrosos para los metales estarían los aldehídos y ácidos orgánicos (acético y fórmico).

²⁸ Que pueden incluso formar parte de la técnica de fabricación del objeto o de los materiales que componen las vitrinas o que forman parte del mobiliario del museo.

²⁹ Gel de sílice tipo Artsorb relativamente efectivo.

³⁰ Absorbentes en fase vapor tipo Carosil, bolsas tratadas tipo Corrossion Intercept.

de la frecuencia de uso, la limitación del número de personas autorizadas a la visita o al manejo del bien y su formación básica en cuanto a la manipulación.



Figura 32. Réplica del collar del Tesoro del Carambolo. Museo Arqueológico Nacional, Madrid. El original se encuentra en el Museo Arqueológico de Sevilla.

En el caso de obras “efímeras” o que el deterioro se establece como parte de la idea, la conservación preventiva es fundamental para alargar la vida de la obra, aunque a nivel filosófico se cuestiona hasta qué punto es legítimo intervenir este tipo de obras cuando está prevista su evolución natural hacia el deterioro, impidiendo que alcance su objetivo conceptual por cuestiones de mercado.

Seguridad y sostenibilidad

Los tratamientos de conservación-restauración de bienes metálicos conllevan, en muchos casos, el uso de productos químicos de diversa naturaleza que pueden generar restos contaminantes. El profesional debe tener en cuenta la potencial peligrosidad de estos materiales, comenzando la intervención por los menos tóxicos en cada caso. Debe contemplarse el uso de medidas de protección individuales y colectivas y la correcta gestión de los residuos según normativa.

Programación de rutinas de inspección

La prevención es una medida selectiva que va a minimizar las causas de alteración de los Bienes Culturales por lo que deben programarse acciones o rutinas de mantenimiento en función de los requerimientos de las obras e instituciones. Para programar estas acciones es imprescindible el conocimiento del bien y del estado de conservación que presenta. Las inspecciones regulares nos permiten controlar si el daño está aumentando o permanece en el mismo nivel. De esta manera podremos anticipar su gravedad, determinar la causa de la alteración y el método para eliminarla.

Esta programación la llevará a cabo un equipo relacionado con la institución tutelar según una rutina previamente establecida, teniendo en cuenta que los Bienes Culturales solo deben ser manipulados por conservadores y restauradores o las personas que estos autoricen bajo su supervisión.

Transferencia
del conocimiento

Memoria y difusión del proyecto

Dentro del conjunto de normativa y actuaciones sobre protección del patrimonio cultural, la conservación del patrimonio debe concluir, por ley, con una memoria donde se especifique y quede reflejada toda la documentación recogida y elaborada en las distintas fases, seguida de la publicación de los resultados y la presentación de los objetos a la sociedad, no solo como divulgación y educación ciudadana sino como justificación del dinero público.

Desde una perspectiva internacional, probablemente la mejor referencia de los trabajos realizados y su evolución en los últimos años lo constituyen los cursos, congresos y publicaciones.

Congresos como el de *Metal*, que celebra desde 1995 el grupo de trabajo de Metal del Comité de Conservación del Consejo Internacional de Museos (ICOM-CC Metal WG), y los libros de actas de los mismos, donde se enlaza la práctica real de la conservación de metales y la investigación más o menos fundamental, son siempre necesarios para la comprensión científica de los fenómenos que afectan a los metales.

En España las publicaciones sobre conservación y restauración específicamente de metales han sido escasas: alguna comunicación dispersa en revistas científicas, que aunque en número reducido, se observa una clara tendencia al alza desde el año 2000, y dos congresos celebrados en los últimos años sobre el tema: MetalEspaña'08, celebrado en la Universidad Autónoma de Madrid en 2008; Metal España'15, celebrado en La Real Casa de la Moneda, en Segovia 2015; y el IV Congreso Latinoamericano de Conservación y Restauración de Metales, celebrado en el Ministerio de Cultura, Madrid en 2011.

En cuanto a libros y monografías, los recursos en español tampoco son abundantes, pero se pueden señalar algunas publicaciones del IPCE: “*La técnica radiográfica en los metales históricos*”, “*Técnicas metodológicas aplicadas a la conservación-restauración del patrimonio metálico*” o “*El Relicario de santa Lucía. Restauración, análisis y estudio histórico-artístico*”.

En el ámbito internacional, destaca el recientemente publicado “*Corrosion and conservation of cultural heritage metallic artefacts*”. Este libro, publicado por la *European Federation of Corrosion*, es un exhaustivo repaso de la I+D+i aplicada al estudio, conservación y restauración de metales. Es un libro de un alto nivel científico, pero de indudable interés para cualquier profesional de la conservación de metales que quiera estar a la última de los avances científicos en este campo.

Si bien no se trata de una publicación científica, sino de un boletín informativo sobre proyectos y eventos relacionados con la conservación de metales, merece la pena mencionar aquí el BROMEC (*Bulletin of Research on Metal Conservation*). Este boletín *on-line* y con traducción al español, incluye principalmente resúmenes que sintetizan las actividades de cualquier etapa del proceso de investigación sobre conservación de metales: propuestas de proyectos, investigaciones en marcha o proyectos finalizados.

Conclusión

Este documento que se ha desarrollado en base a un marco teórico y conceptual, tiene como objetivo fijar una serie de actuaciones sobre la conservación del patrimonio cultural metálico.

La conservación y restauración de los metales patrimoniales, es un tema que a pesar de la diversificación de la oferta, no cuenta con especialización en ninguna institución académica; No es fácil especializarse en un tema, que por sus propias características abarca muchas disciplinas de las áreas de las humanidades y de las ciencias.

Los profesionales dedicados a la conservación de metales, deben buscar calidad en base a los requerimientos multidisciplinares de la práctica de la profesión y tener una actitud deontológica ética, fundamental para garantizar la pervivencia de materiales en su mayoría altamente inestables. Proponemos algunas líneas estratégicas de actuación como son:

El fortalecimiento de la trayectoria académica en la enseñanza de las materias relacionadas con la conservación de metales. Cabe destacar que esta línea debe ser prioritaria puesto que en el proceso de formación es donde se ejerce más influencia en los futuros profesionales.

La oferta formativa y la evaluación sistemática de estos modelos educativos deben ser continuos a fin de adecuar los perfiles profesionales a las necesidades de innovación en conservación y restauración.

El fortalecimiento en la investigación. Tenemos la responsabilidad de realizar contribuciones directas en el avance del conocimiento, innovación, desarrollo científico y tecnológico, que repercutan en la conservación del patrimonio metálico.

Las líneas estratégicas de gestión se deben definir *a priori*. Es preciso poner en marcha programas específicos sobre conservación de metales, fomentando los modelos de cooperación entre las necesidades sociales e institucionales, vinculando intra e interinstitucionalmente a los organismos relacionados con esta disciplina, por medio de comités interinstitucionales, convenios o acuerdos, a fin de viabilizar la formación de redes de colaboración entre profesionales y/o proyectos docentes.

The COREMANS Project

Intervention criteria for metallic materials



Introduction

This document seeks to be the continuation the COREMANS project promoted by the *Instituto del Patrimonio Cultural de España* (IPCE, the Spanish Institute of Cultural Heritage)¹. It aims to define criteria and give recommendations for the conservation and restoration of Spanish Metallic Cultural Heritage.

The cultural assets here are extremely diverse, representing all heritage types and classifications – archaeological, scientific, technological, musical, ethnographic, artistic, industrial, etc. They are made from a range of metals – copper, tin, iron, aluminium, lead, silver, gold and their alloys, and include composite materials.

We aim to conserve our heritage in the best possible conditions, to transmit this common heritage to future generations. The aim is to include the metallic materials in collections belonging to institutions and museums, as well as associated intangible content², contemporary pieces which are still used for their original purpose³, and have a special focus on religious heritage⁴.

We need to establish a set of criteria that can be applied to the conservation and restoration of this heritage in an organised, justifiable manner. This task is made more complex because of the tendency of these metals to try and return to their base oxides. This process not only affects the object's original material, but also its aesthetic values, compromising its very future existence.

These recommendations need to focus not only on conservative measures, techniques, equipment, or working methods, but also other techniques that take part of the approach – maintenance and medium and long-term preventive and remedial conservation techniques, applicable to the environmental conditions with sustainability and security as fundamental values.

These guidelines have been drawn up to help conservator-restorers and other people working in related sectors. Although this is of a general nature, allowing a simple application covering metals, it also focuses on specific cases. In order to specify the required details, a team with specialist knowledge in this area has been brought in, we will be taking into account an extensive series of Spanish and European legislation that also affects other countries through their links to UNESCO, ICOM and ICOMOS, related to what we might call *metal heritage*. This is a collective invitation to take part in a common project dedicated to the conservation of these assets within strict, quality-focused framework.

¹ In 2013 *Criterios de intervención en materiales pétreos* ("Intervention criteria for stone materials") was published by the Sub-Directorate General of the Institute of Cultural Heritage, part of Spain's Ministry of Education, Culture and Sport. <https://sede.educacion.gob.es/publiventa/detalle.action?cod=14516C>

² As is the case with ethnographic and anthropological heritage, *this area includes movable and immovable assets and the knowledge and activities that are or which have been a relevant expression of traditional culture in their material, social or spiritual aspects, where the constitutive model is either an expression of acquired knowledge, rooted in tradition and passed down and whose execution is wholly or partially based on a class, type or form used traditionally by human groups or communities*. Spanish Historical Heritage Act number 16/1985, Articles 46 and 47.

³ Due to their physical characteristics, metals are a constituent part of many cultural assets which are still in use: ornaments (lamps, tableware, etc.), liturgical objects (monstrances, processional crosses, etc.), clocks, musical instruments (organs, bells, etc.), wrought iron door and window grilles, street furniture, industrial heritage, etc. The aim is not necessarily to recover the use of these objects through drastic solutions, but rather to study the possibility of doing so via other channels.

⁴ Spain is the world leader in terms of ecclesiastical cultural heritage, with 80% of quantified assets. Its protection is provided for in Article 46 of the Spanish Constitution, in Article 28.1 of the Spanish Historical Heritage Act no. 16/1985, in the 1986 and 1994 Royal Decrees and in the specific agreements that the Catholic Church signed with Spain's 17 Autonomous Communities. The Spanish Historical Heritage Act specifically provides for this in Article 36, points 2, 3 and 4. The use of ecclesiastical heritage assets is also provided for in Canon 1254 of the Code of Canon Law, which states that the Catholic Church requires its material assets in order to undertake its pastoral work and that ownership of most of its heritage is spread across its various legal entities.

Regulatory framework

Guidelines relating to the conservation and restoration (CR) of heritage assets feature in the conventions, statutes, recommendations and charters published by international organisations. In law, the application of the intervention criteria set out in Article 39 of the **Spanish Historical Heritage Act no. 16/1985** is somewhat all-encompassing, lacking a specific treatment of movable assets. It is nevertheless consistent with mid-twentieth century thinking with regard to restoration. The provisions to the Act have been expanded upon, adapted to suit the coming into force of a series of national and regional protective laws and mandatory international legislation.

There is a paucity of material specifically dedicated to Metal Heritage. There are general documents which can be extended to cover a range of intervention-focused aspects such as cleaning, reinsertion, the materials to be used, etc., although these texts normally refer specifically to stone. The following points in some way affect metal heritage:

- In the **Charter for the Conservation and Restoration of Art and Cultural Objects** from 1987, incorporating, restating and replacing the 1972 Restoration Charter, the idea of an anthropological asset is defined: *architectural and other urban works and natural spaces of special anthropological, faunal and geological interest, “constructed spaces” such as parks, gardens and agricultural landscapes, technical and scientific work instruments, books and documents, accounts of customs and practices of anthropological interest, three-dimensional figures, two-dimensional works on any support (mural, paper, textile, wood, stone, metal, ceramics, glass etc.).*
- The **Recommendation on International Principles Applicable to Archaeological Excavations (New Delhi 1956) on behalf of the General Conference of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)** states that “*Careful supervision should be exercised by each Member State over the restoration of archaeological remains and objects discovered*”, stressing the need to *encourage respect and public interest in historical remains through education and dissemination.*

This recommendation is ratified in the 1969 European Convention on the Protection of the Archaeological Heritage, amended in 1992 in Valletta. Spain signed up to this treaty in 1975 (as published in the Spanish Official Gazette on 5 July 1975). This last amended agreement specifically includes *buildings and structures, groups of buildings, civil engineering projects, movable objects and monuments, as well as their context, either above or below water and cultural assets of an anthropological and ethnographic nature.*

- The **ICOMOS Charter on the Protection and Management of the Archaeological Heritage** (The 1990 Lausanne Charter) defines Archaeological Heritage as *that part of the material heritage in respect of which archaeological methods provide primary information.*

It covers all the footprints of human existence, referring to places in which any type of human activity has been undertaken, to all kinds of structures and abandoned remains, both exposed, buried or underwater, as well as the material related thereto.

- The **Nara Document on Authenticity** (1994) was the first to examine the intangible and spiritual aspects of the piece, whose upkeep might take preference over the conservation of its constituent materials. This document has been of fundamental importance in setting the criteria for the conservation of religious or everyday objects: It is not possible to base judgements of values and authenticity within fixed criteria. On the contrary, the respect due to all cultures requires that heritage properties



Figure 1. A very rare example of iron and bronze objects stuck together and to a ceramic material as a result of corrosion. Albacete Museum.

must be considered and judged within the cultural contexts to which they belong... *Depending on the nature of the cultural heritage, its cultural context and its evolution through time, authenticity judgements may be linked to the worth of a great variety of sources of information. Aspects of the sources may include form and design, materials and substance, use and function, traditions and techniques, location and setting, and spirit and feeling, and other internal and external factors.*



Figure 2. Procession of the Monstrance by Juan de Arfe on Corpus Christi in Toledo, 2006. Photo: Rafael Ibáñez Fernández. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Procesión_de_la_Custodia_-_Corpus_-_Toledo_-_29_may_2005.JPG

- The 1996 **ICOMOS Charter for the Protection and Management of Underwater Cultural Heritage** (the Sofia Charter) sought to define the scientific objectives, approaches, techniques, qualifications, responsibilities and experience required in order to ensure the safeguarding, protection and management of sites as well as of the recovered materials. The subsequent 2001 **Convention on the Protection of the Underwater Cultural Heritage** which came into force in Spain in 2009⁵, comprehensively defines the notion of underwater cultural heritage, making the necessary recommendations to guarantee and underline its protection. In Spain, these recommendations are set out in the National Plan for the Protection of Underwater Cultural Heritage (the 2010 **Green Paper**)⁶.
- The 2000 **Charter of Cracow** outlines a conservation project which focuses on restoration, maintenance and repair, qualification, minimal intervention, maintenance of authenticity and integrity, risk and prevention. There is a focus on built heritage although it can also be extrapolated to other asset types.

⁵ Spain signed the Convention in 2001 and ratified it in 2005, although it didn't come into force until 2 January 2009.

⁶ In parallel to this legislation, a number of reference centres were set up (ARQUA – the National Museum of Underwater Archaeology – on a national level, and CAS, CASCV and CASC on a regional level) to respond to the serious damage caused by continuous overfishing in underwater cultural heritage areas.

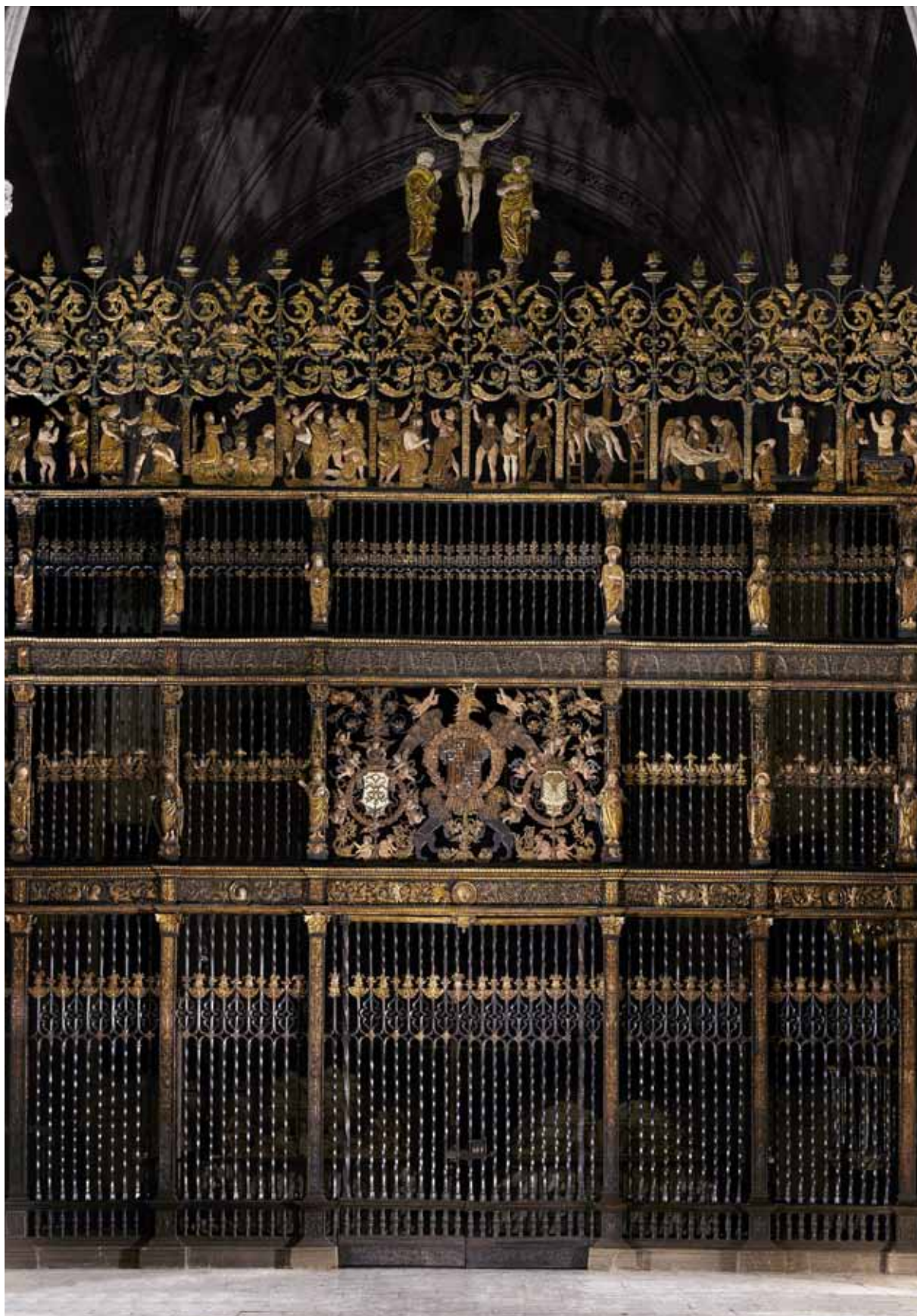


Figure 3. Wrought-iron enclosure, Royal Chapel, Granada.

- The 2000 **Riga Charter on Authenticity and Historical Reconstruction in Relationship to Cultural Heritage** specifies that *there are circumstances in which reconstruction is needed to ensure the survival of the site, recognising that each historical period has its own particular style, including form and design, materials and substance, use and function, traditions and techniques, location and environment, spirit and feeling and other factors.*
- Other aspects of metal heritage, both in terms of movable and immovable property, are defined in the 2003 **Nizhny Tagil Charter for the Industrial Heritage**: *the remains of the industrial culture that has a historic, technological, social, architectural or scientific value, as manifested in buildings and machinery, workshops, mills and factories, mines, processing facilities and refineries, warehousing and storage facilities, sites dedicated to the generation, transfer and use of energy, means of transport and their infrastructure, as well as sites dedicated to social activities related to industry, such as housing, religious worship and education*⁷. Most industrial assets were created with functionality, not durability and permanence in mind. Obsolescence, technological complexity, diversity and an experimental composition of industrial materials, as well as the vast size that such pieces may reach and the lack of maintenance during the period in which they were abandoned represent a challenge for their conservation. This charter seeks to conserve or recover the functional integrity of the object to the extent of its possibilities.



Figure 4. Dornier DO-24, Aviation Museum, Madrid.

⁷ Chronologically this covers cultural expression from the mid-18th century to the introduction of mechanisation and the point where it began to be fully or partially replaced by other systems in which automation played a part.



Figure 5. Royal Metal Factories of Riópar, San Juan de Alcaraz, Albacete.



Figure 6. Pietro and Ferdinando Tacca, Equestrian statue of Philip IV of Spain (detail), Plaza de Oriente, Madrid.

- The 2004 **Document on outdoor bronze artworks**, drawn up to conclude BMC2004 “Conservazione dei monumenti in bronzo all’aperto: esperienze a confronto”, deals specifically with metals. It offers a series of recommendations regarding conservation, where the intervention project should be: *a true interdisciplinary preliminary study (history, technique and diagnostic) of the development of the restoration project, of inspection and maintenance, assessment of the project itself, with clear indications of the role of each function, with a special emphasis on the reversibility of the materials to be used and the need to value the patina, the true interdisciplinary platform, from both a technical and diagnostic-aesthetic point of view, and its role as a frontier which is fragile yet essential between the object and the medium that contains it and highlights its value.*
- The 2006 **Monterrey Charter** (2006) approaches Industrial Heritage from its intangible and documentary aspects (catalogues, instruction and maintenance manuals, advertising, leaflets, etc.), associating it with urban, natural and human realities. It seeks to further the identification, registration, protection and promotion of such expression which seems condemned to disappearance.
- **ICOM terminology defining the conservation of tangible cultural heritage** (2008) passed at the 15th Triennial Conference, New Delhi. Here, the ICOM-CC adopted the terminology relating to preventive conservation (*avoid or minimise future deterioration or loss*), remedial conservation (*put a halt to current harmful processes and strengthen structures*) and restoration (*action taken direct on an individual, stable asset, with a view to facilitating its appreciation, understanding and use*), which jointly constitutes the conservation of tangible cultural heritage. These terms can be distinguished through the different aims presented by the measures and courses of action in question.
- A specific development of the Nizhny Tagil Charter and a declaration of intentions came with the 2008 **El Bierzo Charter for the Conservation of Mining-Related Industrial Heritage**, prepared by the IPHE (currently IPCE), the Spanish Institute for

Historical Heritage and the Ciudad de la Energía Foundation, with the participation of TICCIH-Spain, SEDPGYM and technical experts from most of the country's Autonomous Communities. *The idea of conferring perpetuity on material and intangible mining elements, bestowing a new use upon them or simply highlighting their inherent social value in terms of heritage should represent the driving force behind research, conservation and dissemination policies.*



Figure 7. Castillete, Puertollano.

- The **Dublin Principles** adopted by the 17th ICOMOS General Assembly in 2011 were an attempt to promote the documentation, protection, conservation and appreciation of industrial heritage as part of the shared heritage of human societies around the world. However, they went slightly further than this, as they also considered *a wide range of sources, including site research and documentation, historical and archaeological research, analysis of materials and landscapes, oral history and/or public archives and companies from the private and public sectors. The research and conservation of documents, business archives, building plans and industrial product samples should be promoted.*
- The **Burra Charter** (from 1999, although it was amended in 2013) can be applied to places of cultural, natural, indigenous or historic significance with cultural value, outlining a practical guide to provide consultation, take decisions and to undertake projects in places of cultural importance, including their owners, administrators and custodians.

This can be applied to elements, objects, spaces, places and points of view with tangible and intangible dimensions: a monument, a tree, a building or group of buildings, the site of a historical event, an urban area or a city, a cultural landscape, a garden, an industrial facility, a shipwreck, on-site remains, a road or travel route, a meeting place for a community, a site with spiritual or religious connections etc.

- The **Intellectual Property Act** (Legislative Royal Decree 1/1996 of 12 April, modified by Act 21/2014, of 4 November 2014) affects the treatment of contemporary metals by mentioning reproductions and interventions during the author's life, in which each conservation-restoration operation is framed: *the author of a literary, scientific or artistic work has the right to demand that its integrity be respected, preventing any deformation, modification, alteration thereof or other form of attack which may damage the author's legitimate interests or undermine their reputation*⁸.
- The **National Conservation Plans** are cultural heritage management instruments which, based on a study of the assets that make them up, allow rationalisation and optimisation of resources dedicated to their conservation and dissemination, ensuring at all times the coordination of the action taken by state, regional and local organisations. The IPCE is currently working in 14 areas: Cathedral Plan, Defensive Architecture Plan, Cultural Landscape Plan, Industrial Heritage Plan, Abbeys, Monasteries and Convents Plan, Safeguarding Intangible Heritage Plan, Preventive Conservation Plan, Research in Conservation of Heritage Plan, 20th Century Heritage Plan, Education and Heritage Plan, Traditional Architecture Plan, Emergency and Risk Management for Heritage Plan, Conservation of Photographic Heritage Plan, and Protection for Underwater Archaeological Heritage Plan.

Nevertheless, the outlook is slightly discouraging, as the “Intervention criteria” section of the 2011 **Valletta Principles for the Safeguarding and Management of Historic Cities, Towns and Urban Areas** refers to method and scientific discipline. As a result of the need to establish standards or “good practice charters” regarding the fundamental principles that regu-

⁸ As far as intervention in contemporary art is concerned, there are no specific charters nor regulatory recommendations, resolved through a protocol of action. When the creators themselves intervene in their own pieces, conflictive ethical situations may arise: can the author maintain their position with regard the premises elaborated during the earlier creative period, respecting their own work, creating a new piece or new semantic relationships? It is currently felt that such interventions should be undertaken by a professional with the artist's participation – if they are alive – in order to better understand its function and how it establishes the original aesthetic intention and the concept to be restored.

late scientific, unified and common processes, methods and documentation on conservation in a consensual manner, the CEN/TC3462⁹ was drawn up which studied and formalised a wide range of general aspects regarding the conservation of cultural heritage. To date, 21 regulations have been drafted¹⁰ (in Spain, AENOR has translated and published 12 of these) covering 3 main areas: general directives and approaches, the assessment of conservation methods and products and interior and exterior environmental conditions.

⁹ European Committee for Standardization/Technical Committees.

¹⁰ Not all of the research of these work groups is applicable to metal conservation.

Prior considerations

Metals form a part of all these “heritage types” – archaeological, historical, sub-aquatic, religious, industrial, contemporary, etc. They can be found outside, or in a museum; they may have added other intangible content to their physical characteristics, and organic assets to their inorganic materials. They have different conservation needs that are sometimes clearly antagonistic. This document deals with general criteria, dwelling upon specific cases which require more attention in order to understand this extensive and complex subject.

There have been many restoration and conservation processes applied to metal surfaces. Some are still used while others have seen their methodologies change, or have been rejected as they are considered harmful or unsustainable.

Interventions should follow a methodological series of pre-established sequential phases.

Stage 1

Research and Diagnostic

1 a) Documentary research

Background documentation

For all asset types, documentation should be the first of the conservation activity, in order to acquire the greatest knowledge possible of the cultural manifestations which frame the asset, its material and setting, the purpose(s) for which it was created, the various industrial processes that it has undergone, whether or not its uses have varied over time through the restoration and maintenance interventions that have been undertaken. Conservator-restorers therefore need to work on an interdisciplinary basis with chemists, radiologists, documentation specialists, anthropologists, archaeologists, historians, craftsmen and women, proprietors and any other specialists in order to have a greater awareness of physical, social and magical characteristics, etc. which may have a bearing on the object and provide a stronger foundation for intervention.



Figure 8. Alexander Calder, *Carmen*. Aluminium, iron and paint. Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, Madrid.

As far as contemporary work is concerned, we also need to look at the creator of the piece in order to understand the intent, philosophy and concept that the artist has sought to reflect: an analysis of materials, commercial firms and year of production of the industrial and commercial materials used¹¹, bibliographies, writings, manifestos by, on or with the artist, photographs and videos of artistic processes¹² etc. can help in this research.

Documentation concerning the type of alterations

Industrial and contemporary heritage bring new conservation problems associated with modern metals (Aluminium, Magnesium, Stainless steel, Monel, Zinc, Chrome plate, weathering steel) and other materials (plastics, oxide coatings, ceramics) that have not been part of the conservators traditional domain.

Additionally, in the case of certain pieces, the characteristics and properties of the metals attain their maximum expression – polish, metal ductility/strength, textures, contrasts, etc. – in which the very concept of contemporaneity and modernity is contradictory to that of ageing. The incorporation of used objects, degraded materials, industrial processes and pieces which incorporate corrosion in the design and development of the concept, conflicts with the description of traditional alterations.

Research and development on these materials and systems has increased in recent years, and it is expected to continue acquiring greater importance in the near future.

1 b) Definition of operation and its needs.

Setting up of work team. Resource plan and viability

Prior to the intervention on metallic materials, the infrastructures required in order to solve the problems related to the stability and watertightness of the piece needs to be analysed. A conservation assessment is required to assess the structural integrity and stability of the object. The significance of the object also needs to be assessed to ensure intangible heritage is treated in an appropriate manner,, especially in places in which conservation criteria will be applied *in situ*, a concept that most consulted texts and recommendations consider to be the priority.

The analysis and studies needed will be planned before the intervention. In the case of archaeological sites, assessment of site type should be included, as well as of the possible exhausted materials and objects, infrastructures etc. required for future digs, packaging, storage and exhibition of the finds.

¹¹ Occasionally, materials continue to have the same denominations although the composition changes.

¹² Mention should be made here of the work of **INCCA** (the International Network for the Conservation of Contemporary Art), which prepares databases on artists, with interviews focusing on their work, methods and materials used in modern and contemporary art, directives employed in the drawing up of conservation plans and legal questions associated with the rights of the author and moral rights. Check: Foundation for the Conservation of Modern Art (1999). **The Decision-Making. Model for the Conservation and Restoration of Modern and Contemporary Art.**

The interdisciplinary nature of the solutions proposed should be considered. Members of the technical teams should be qualified personnel with official qualifications and/or specialisation in each of the fields applicable to the conservation project.

The intervention process should in turn work as a teaching tool, communicate, to facilitate understanding and assimilation by the general public, thereby making cultural heritage more accessible.

Restoration and conservation project viability, needs to use, methods and solutions that are compatible with conservation approaches. The action carried out should favour environmental, economic, human and social sustainability. Historical heritage can play an important role in the economic regeneration of deteriorated areas or those in decline, with the adaptation and reuse of industrial buildings contributing to sustainable development. These new uses should respect all significant material, maintaining original circulation and activity designs, ensuring maximum compatibility with the original or main use.

Financial assessment of material and staff expenses.

1 c. Exploratory and descriptive research

The analytical techniques are used to understand the structure and composition of metals (optical and stereoscopic microscopes, radiography, endoscopy, SEM-EDX, X-rays fluorescence (XRF) etc.), to study corrosion products (optical microscopy, Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), Raman spectroscopy, X-ray diffraction (XRD) and checking stability (electrochemical impedance spectroscopy EIS).

One field which is permanently commonplace is the development of techniques which allow us to obtain a greater understanding of an object with the minimal impact. A number of techniques have been developed, both spectroscopic – such as XRF, laser induced breakdown spectroscopy (LIBS) and Raman – and electrochemical and different wavelength imaging, to ensure more portable equipment with more advance analytical features. Large-scale equipment at special facilities, such as a synchrotron or other particle accelerators and nuclear reactors used as neutrons source, are becoming increasingly common in the analysis of metal cultural assets through techniques such as *particle induced X-ray emission* (PIXE), *X-ray absorption spectroscopy* (XAS) and neutron tomography and diffraction, obtaining information on objects that until now was not possible.

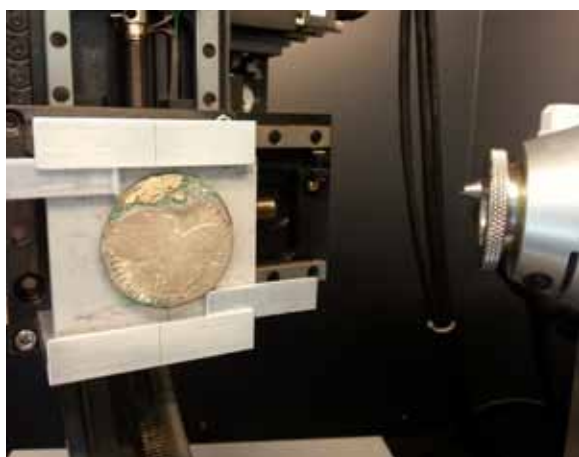


Figure 9. X-ray diffraction (XRD) of the products of corrosion on a silver coin.

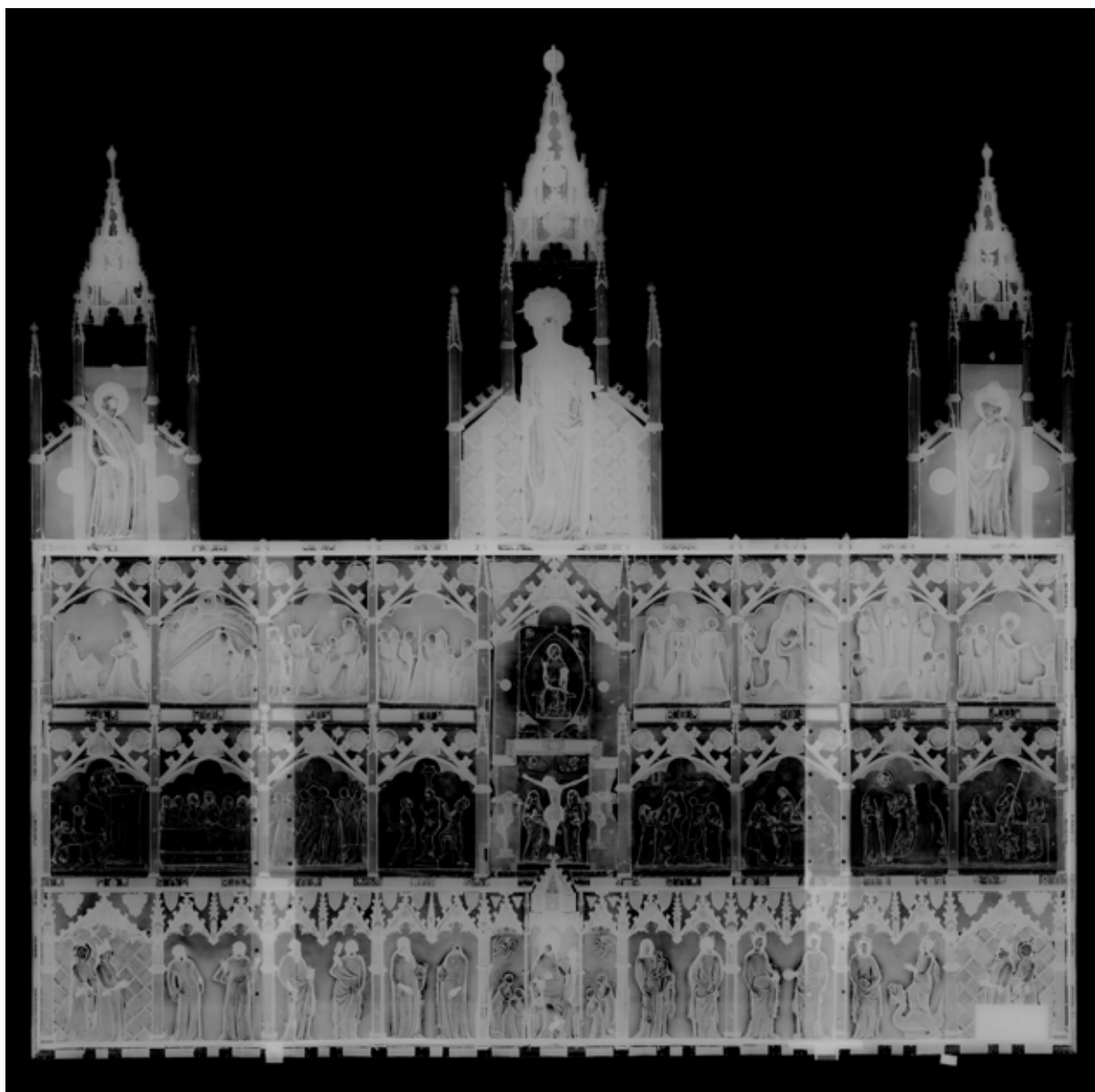


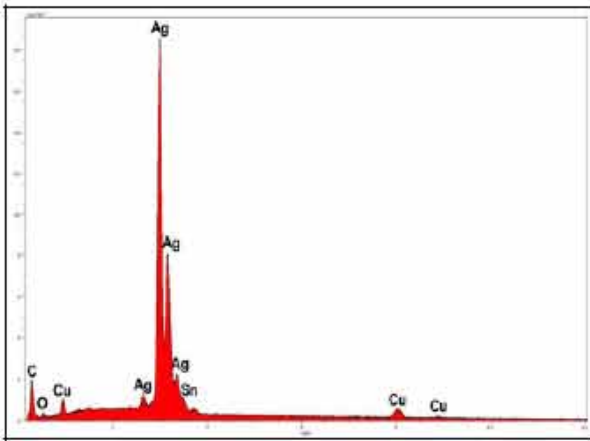
Figure 10. X-ray of the silver altarpiece at Girona Cathedral.



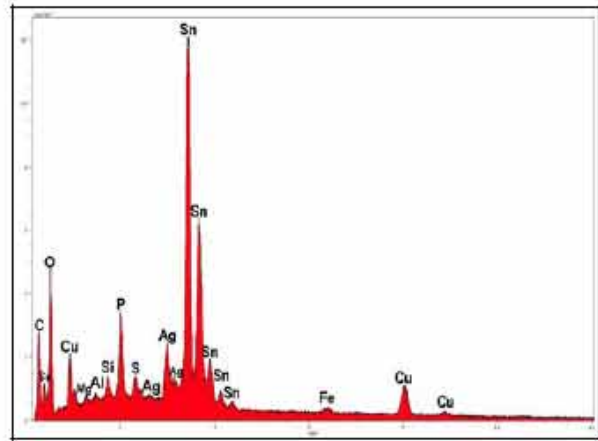
Figure 11 (left). X-ray of a gold archaeological object (tip), Castil Tierra necropolis (Segovia, Spain).



Figure 12 (right). SEM-EDX of an Islamic necklace.



Microanálisis EDX realizado sobre la fase principal.



Microanálisis EDX realizado sobre la fase alterada.

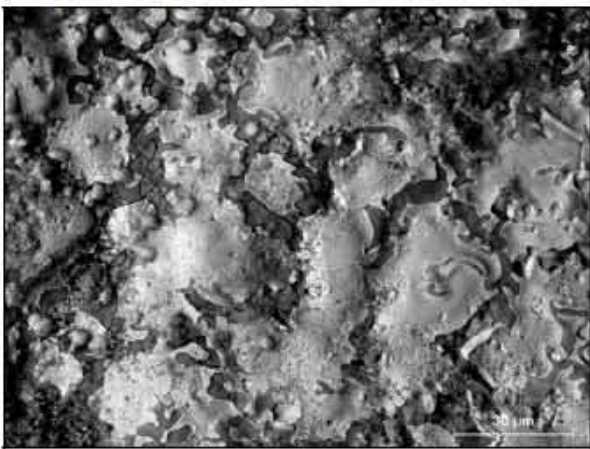
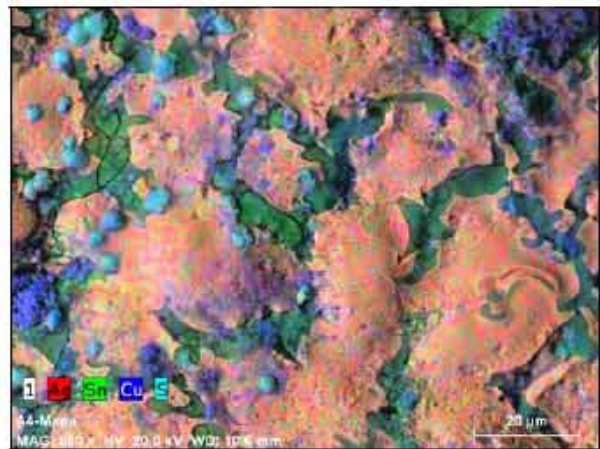


Imagen BSE de detalle de la superficie de la chapa decorativa. Las zonas oscuras se encuentran enriquecidas en estaño y alteradas.



Distribución de los principales elementos en la anterior imagen.

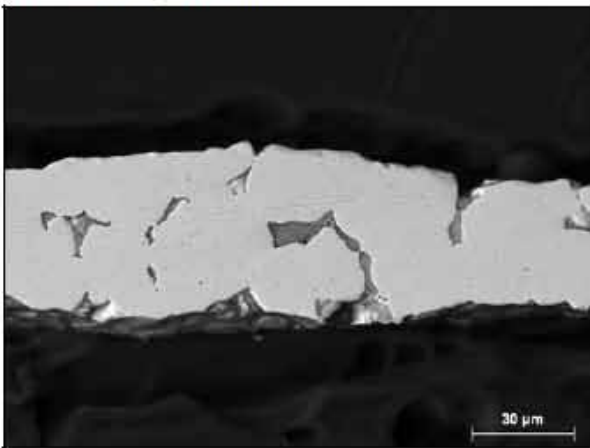
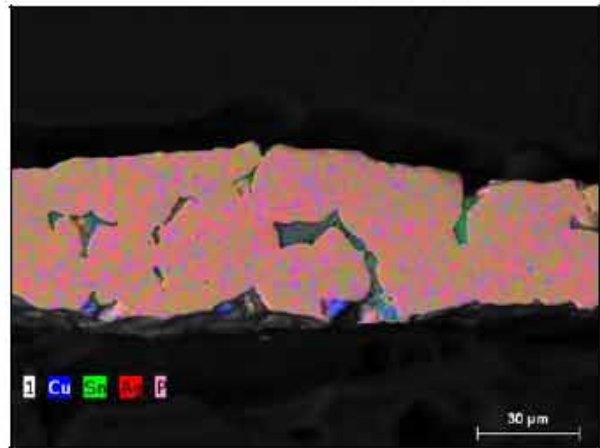


Imagen BSE de la sección transversal de la chapa.



Distribución de los principales elementos en la anterior imagen.

Figure 13. Analysis of a silver decorative piece via scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy (SEM/EDX).



Figure 14. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) of the protective capacity of patinas and coatings on the sphinxes on the façade of National Archaeological Museum, Madrid.

Nevertheless, the emphasis should be on non-destructive analysis methods, using non-invasive techniques. Occasionally, and where expressly justifiable, a micro-sample can be taken as representative of the object as a whole. Bear in mind the limitations on analysis methods and the need to combine two or more to ensure more accurate results. An order of priority for the application of the various analyses needs to be established as some types can interfere with others.

The aim is to obtain relevant new information for decision making on asset conservation. These decisions on studies to be undertaken should be taken together with scientists specialising in experimental techniques and their application to cultural heritage. Ideally, scientific studies should not be limited to the preliminary phases but should rather serve as support to the conservator-restorers throughout the intervention process.

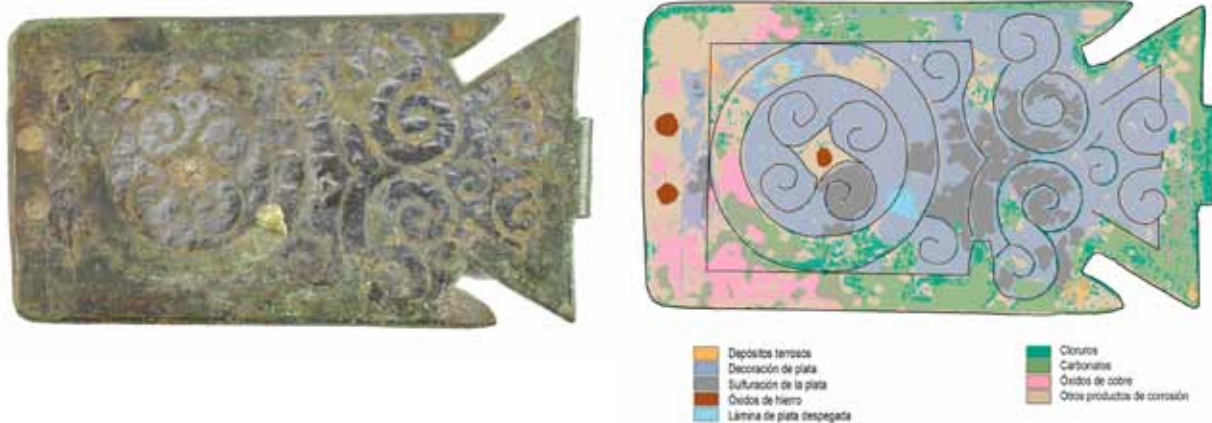


Figure 15. Figure showing alterations to a copper alloy belt buckle with silver decoration.

Stage 2

Execution y Treatment

2) Proposed conservation and restoration action

The interventions proposed within a global conservation project, including both analysis and preliminary treatment prior to stabilisation of the alteration processes, such as the application of restoration and conservation treatment from short, medium and long-term preventive conservation plans. Any inevitable change should be documented, if significant elements are to be removed, registered and safely stored.

The products used have to be properly labelled and accompanied by their relevant specifications sheet indicating their composition, manufacture and expiry dates. The manufacturer's recommendations for use should be followed as indicated, along with those deriving from the scientific tests conducted. During the interventions, the quality control systems considered most appropriate should also be applied in each case, both during processes and also in the treatments and materials used.

It is also essential to promote research and studies into new materials that are compatible with those used to investigate cultural assets, scientifically sound and take into consideration reversibility criteria.

2 b) Conservation and restoration. Phases (methodology)

Dismantling

A preliminary operation which seeks to separate the various pieces of a whole.



Requirements and recommendations

This will only be carried out where strictly necessary in order to effect conservation treatment and facilitate cleaning tasks. Dismantling should include the numbering of elements. It is recommendable to classify each part separately, with its placement clarified through diagrams and photographs. When assembling, the order of dismantling should be followed in reverse, putting the pieces in place based on the numbering, as long as there has not been any modification or intervention which impedes their original location.

Figure 16. Dismantling the reliquary of Saint Lucia at Toledo Cathedral, with a view to stabilising its internal structure and making cleaning easier.

Cleaning

Cleaning is one of the most important phases in the intervention of a metal object. Its aesthetic appreciation, historical and technological reading and its future physical-chemical and structural stability depend on cleaning.

As these are metals that react with their surroundings, once the creation of the object cycle has concluded, a new surface emerges¹³. It should be remembered that a metal is never uniform due to the impurities of the alloy, crystalline defects or the intersections between the grain, causing external aggression to influence the metal in another way, with a different intensity.

Corrosion is a set of physical-chemical processes between the metal and the medium, resulting in a mineral state that is thermodynamically more stable. Its composition is highly complex, as it can differ between the same metal in the same surroundings. It can suffer invisible modifications, forming a series of different minerals, from the point of view of their chemical make-up, their structure or form. These layers may have protective properties, meaning that their elimination may reactivate a corrosion process which is stabilised.



Figure 17. The conservation state of part of a copper-alloy breastplate.

¹³ Natural patinas are considered to be transformations of the material due to natural causes that leave a mark showing the passage of time, whereas artificial patinas are those layers that were applied intentionally in the past, for protective or aesthetic purposes.

Requirements and recommendations

After the preliminary analysis, cleaning tests are carried out to assess the results, allowing us to determine the viability and suitability of the methods to be used, application procedures and working ranges.

The decision to remove a compound, to follow one layer or another, should not be a subjective option. This is an irreversible process which should be carried out with all possible guarantees and halted wherever there is the risk of deterioration, with a clear priority given in most cases to criteria aimed at stabilising corrosion over aesthetic considerations¹⁴.

Cleaning should be uniform, without reinterpreting the cultural property or giving rise to historical fakes. Patinas, gold leaf, coatings and historical additions should be conserved. Only in exceptional circumstances and for justifiable causes should they be removed if their permanence represents a risk in terms of the conservation of the object, after a collective decision and based on exhaustive documentation¹⁵.

This can be carried out using one or various methods, either alone or in successive combinations. It is always recommendable to use visual magnification instruments, such as magnifying glasses, USB microscopes, etc. If the size of the piece allows it, it should be viewed under a binocular or light microscope.

Special attention is also needed when working on the finishes of certain ethnological, scientific and industrial metals. These might be oils, printed or painted surfaces, applied for



Figure 18. Ephebus of Antequera. First stages of cleaning.



Figure 19. Cleaning of gimped silver decoration on a textile.

¹⁴ In contemporary art the aesthetic aspect of the piece is of fundamental importance. An alteration of the metal therefore clearly distorts the original idea, by modifying surfaces and textures. Intervention often implies polishing, repainting or re-coating, even to the extent of removing original layers (which in this particular case would not affect its authenticity) in order to re-establish the artist's idea. We can also discount action taken on surface alteration processes and deposits which are planned or programmed and which form a part of the concept and development of the object.

¹⁵ "The restoration of properties should respect the contributions from all existing periods. The removal of any of these will only be authorised in exceptional cases and providing the elements to be removed constitute a clear deterioration of the property and their removal is necessary to enhance its historical interpretation. The eliminated parts should be duly documented." Article 39. Paragraph 3 of the Spanish Historical Heritage Act 16/1985, of 25 June (Spanish Official Gazette of 29 June 1985).

protective purposes or in some cases, designed to be regularly added to, industrially oxidised metals¹⁶ or regulation finishes on rail and naval material. Extreme care needs to be taken when cleaning specular, nickle, chrome, gold and silver-plated, powder-coated and tinned surfaces, etc., which are very susceptible to scratching.

When cleaning surfaces, it is not advisable to use erosive techniques or those that cause mechanical damage. The systematic removal of finishes and the product of corrosion with industrial blasting should be avoided.

The degradation of the products needed to ensure the adequate functioning of machinery may affect metal pieces, as is the case with lubricants and compounds derived from glycols used as coolants, which generate organic acids and become corrosive. However, they should not be removed but rather replaced by more innocuous substances; designed for long-term storage, or at least fresh fluids, greases and oils with the same specifications and characteristics. For safety reasons, batteries and other combustible elements should be removed with appropriate documentation and storage.

Cleaning methods

Mechanical cleaning

The elimination of the products of the alteration external to the object using the mechanical energy. In order to do this, scalpels and certain dental utensils are used, lathes (micro-motors), vibrating tips and low-pressure blasting of abrasives of varying grain size: vegetable matter (walnut and almond shells, etc.), plastics, glass beads, etc. In the event that micro-motors are used, the composition of the various abrasive bit sizes depend on their hardness (bristle brushes, rubber, silicon, wire-brushes, corundum), size, form and hardness, adapted to the product to be removed¹⁷. In all cases, pressure, speed, angle of incidence, force, penetration capacity and application time need to be regulated.



Figure 20. Cleaning with a micro-motor and rubber bit.



Figure 21. Cleaning with a micro-scale abrasion tester and glass bead.

¹⁶ This is the case with weathering steels such as Cor-Ten.

¹⁷ There is a colour code which indicates abrasive power and hardness.

Laser

Laser treatment is a physical intervention. Its most important characteristic is the ability to concentrate a large amount of energy for a limited period, through short pulses (microseconds, nanoseconds or femtoseconds) with a separation between pulses which is also extremely short, resulting in high instantaneous temperatures and a series of phenomena that can be grouped together under the term “ablation”, where the result is the removal of irradiated material. Photochemical ablation is the technique whereby lasers emit ultraviolet rays, while photo-thermal ablation uses visible radiation or infrared lasers. This second group of lasers is the most common and the type which gives the best results in the cleaning of metal surfaces.

Wavelength, energy (fluency), duration of the laser pulse and firing frequency will all have an influence on the processes taking place during the laser-material interaction. It is essential to make use of laser equipment that allows us to programme these parameters, as each type of metal will need its own adjustment.

As working with lasers does not involve physical contact with the material in question, it would seem to be perfect for archaeological iron, lead, gold and mixed material, as well as for object showing signs of serious deterioration, as the vibration and stress produced by mechanical or manual methods are avoided. The method is also appropriate for any kind of residue left behind after chemical cleaning.

Operating conditions depend on the thickness of the layer of corrosion and the composition of the material, as organic and inorganic material absorb different wavelengths. The colour, thickness, density, roughness, heat capacity and thermal conductivity of the substrate also need to be taken into consideration. In general, each type of material has a level or threshold from which laser irradiation produces an effect on the products of corrosion.

The best cleaning results are obtained, as in other cases, when laser and other intervention methods are combined.



Figure 22. Cleaning with laser.



Figure 23. Cleaning with ultrasound.

Chemical methods

Chemical cleaning are based on the use of solvents or solutions which dissolve or transform certain compounds into soluble. One disadvantage in the use of chemical methods is that they are difficult to control. They can cause changes to the surface of the metal or discolour it, or damage objects with fissures or which have a high mineral content.

Nonetheless, certain treatments of this type can be carried out with selective cleaning. They require extensive control over the whole process (the application system, contact time, solution pH)¹⁸ as noxious by-products can be created, causing irreversible damage. Their use should be accompanied by neutralisation and a subsequent close monitoring to highlight any incidents¹⁹.



Figure 24. Chemical cleaning samples. Wrought-iron enclosure, the Scalas Chapel, Seville Cathedral.

¹⁸ They can be applied to the surface, through immersion, in a dry preparation, a gel, in combinations, etc.

¹⁹ Domestic commercial metal cleaners can also be harmful if used incorrectly, in large quantities or if residues are not eliminated. The residues left by these products may not be visible until the damage has been caused.

Electrochemical treatments

These are based on the transformation of the products of corrosion through electrical currents, either generated with a battery on the object or applied via an external power source. At the beginning of this century, their use has re-emerged within the context of metal cultural heritage, both in terms of analytical techniques (there have been a number of interesting developments, in voltametry analysis of micro-particles in application of electrochemical impedance spectroscopy (EIS) *in situ*) and in terms of treatment techniques. Here, the key development has been in potentiostatic control of treatments, both in a general manner and, more recently, for its use in localised treatment using “electrochemical cells and pens”.

Gaseous plasma

Gaseous *plasma* is a gas in ionised form which can be created artificially. For years it has been used as a conservation treatment for metal pieces, in the cleaning and removal of chlorides. It vaporises the organic elements, leaving the layer of porous corrosion – the weakest part – which is easy to remove using mechanical methods. There have recently been a number of interesting research and other projects focusing on the development of cooled plasma torches which allow for localised treatment outside a closed chamber.

Bio-regeneration

Bio-regeneration, or the treatment of sulphate-reducing bacteria in anoxic environments, is another method being applied to some metals, above all during the cleaning of certain irons.

Nanotechnology

It is also important to remember the role of nanotechnology. Still in its experimental phase, work is currently being undertaken with nanogels for cleaning purposes and biocides, consolidants and water-repellent solutions. Scientists are also experimenting with protection systems which use nanosphere-based deposition/consolidation thin-film techniques such as sputtering.

Desalination (Dechlorination)

Here the aim is to remove soluble salts. In the case of metals, chlorates are the most harmful. A number of cleaning methods also act as desalination²⁰.

Requirements and recommendations

In the case of dechlorination, the duration of the treatment is extremely important, as are the amount of chlorates removed, the possible degradation of the object by freeing surface alterations and the possible repetition of the intervention.

²⁰ For example, plasma or laser, although in the latter case it only vaporises halogens (surface chlorates, bromides, etc.).

Methods

In the case of objects taken from the sea, desalination should first be carried out using fresh water to conclude the de-ionising process. In the case of iron, protection is mainly based on desalination through immersion in alkaline sulphite baths²¹ prior to inhibition treatment. The application of electric currents can help in removing chlorates, both through the reduction in chlorate compounds and through electrophoresis. The effectiveness of the intervention can be measured using a conductivity meter²².

The most significant development in dechlorination in recent years is the application of sub-critical fluids. It has received a great deal of attention of late and raised high expectations with its promising results. Nevertheless, it is only viable for small pieces.



Figure 25. Dechlorination. Coins from the shipwrecked frigate *Nuestra Señora de las Mercedes*, Cartagena, Murcia. Checking salt levels using a conductivity meter.

Inhibition (Stabilisation)

Inhibitors are elements which, when applied in small amounts, reduce the rate of corrosion by slowing down or impeding the interaction of the metal (electrochemical reactions) with its surroundings. There are different types of inhibitors that are used, based on differing criteria: due to their anodic, cathodic or mixed action, their oxidising action, the way they act (forming a film or by absorption), their chemical nature (organic or inorganic), due to their greater or lesser degree of safety, the way they are used, etc.

In the case of copper and alloys, organic inhibitors are used which form very fine films. These reduce the speed of corrosion by slowing down the anodic reaction, the cathodic reaction or both. The most efficient and best-known organic inhibitor for these metals is 1,2,3-Benzotriazole (BTA) and its nitrogen-based derivatives, such as 2-Mercaptobenzothiazole (MBT). 2-amino-5-mercapto-1,3,4-thiadiazole (AMT) containing sulphur, nitrogen and oxygen is also used in both cleaning and as an inhibitor.

For iron, tannins, phosphates and dicyclohexylamine nitrite are traditionally used with archaeological and historical objects.

²¹ A sodium hydroxide – sodium sulphite solution.

²² As a safe threshold, a number of sources recommend a salt level of 100 ppm or where the content level is constant, based on measurements.

Recent research focuses on the development of more efficient systems, with less impact on health and the environment. Unfortunately, in many cases, the best systems are not innocuous. The encouraging results obtained from treatments based on long-chain carboxylates (heptanoate, decanoate, dodecanoate, etc.) should be highlighted. They have performed well on a number of metals (lead, copper, iron, silver, zinc), both in laboratory trials and when applied to real metal heritage objects.

Other developments, using cutting-edge application techniques such as the aforementioned plasma, sol-gel and self-assembled monolayers (SAMs), have also had promising results with test-tubes and small objects such as coins, although problems arise when applied to bigger, more complex pieces. Nonetheless, in certain specific cases there are possibilities that should not be overlooked.

Corrosion inhibitors should meet a series of basic requirements:

1. Minimal interaction with the aesthetic aspect of the object.
2. Durability and stability.
3. They should only absorb or be chemically bonded to the substrate.
4. They should be effective over a Ph range between 2 and 8.
5. They should be reversible.
6. Easy to apply and reposition.
7. Finally, low toxicity for both the restorer and the environment.

Drying

The removal of water is of key importance, given that it is one of the most common factors in the spread of corrosion. Occasionally it is combined with degreasing processes.

Requirements and recommendations

Drying is carried out by placing the pieces on drying paper or cellulose, ensuring water drops do not remain on the surface which may leave stains or marks on polished metals.

Methods

This can be done in the air, using solvent baths or most commonly in a heater. If an electric heater is used for drying, the temperature will depend on the type of metal to a maximum of 105°C.

Adhesion

The joining or reinforcing of elements seeks to restore lost mechanical cohesion, essential to the survival of the piece.

Requirements and recommendations

Each adhesive has a scope of application that depends on its mechanical and chemical properties, both before and after hardening. In the case of heritage objects, the products to be used

should be compatible with the constituent materials, as well as stable, inert and unalterable and no more resistant than the object itself, ensuring that if it breaks for any reason it will break along the join.



Figure 26. Adhesion of a dagger hilt using dyed epoxy.

There should be no experimentation with new products or brands that have not been previously tested as it is essential that these characteristics are known beforehand: cohesiveness, viscosity, rapidity, possible adverse physical-chemical reactions, aspect and finally, how it will age and its potential reversibility.

The problem of reversibility is evident. It is essential that adhesives can be removed in the future, as its ageing will result in changes to colouration, as well as reduced cohesion and adhesive properties. Its removal should not result in alterations nor material deterioration of the object.

Methods and materials

Generally, epoxy adhesives are used on structural elements, with cyanoacrylates used for mounting or joints of thin fragments as, in spite of them being insoluble, reversibility is possible with solvents or by applying heat. The adhesives traditionally used in the restoration of porous materials are not of great use in these cases.

Supports: If adhesion is not sufficient, reinforcement or assembly systems which hold the fragments in place and provide sufficient mechanical stability can be used. Inert materials are used. Under no circumstances may uninsulated metal elements be used which may form galvanic cells.

Soldering Only with due precaution, in exceptional circumstances and when the previous reconstruction methods are not suitable should restorers resort to soldering.



Figure 27. Salamander pendant. Instituto Valencia de Don Juan, Madrid.

In the case of metals from archaeological explorations, soldering is totally inadvisable as it alters the original microstructure of the metal. Historical joints, however, should be respected as long as no stress or physical-chemical or mechanical damage is caused and their removal does not lead to greater deterioration.

If the fragmented element is a civil or religious object in current use, is an essential part of a structure or there is a danger of it disappearing, the soldering option can be considered. If it is deemed necessary, the support material should be as similar as possible to the original material. Where the fragmented area is gilded, silver-plated, patinated or powder-coated, conventional soldering should never be used, as the heat of application will remove the finish.

Laser soldering is less invasive. Although there is the inconvenience of it being an irreversible procedure as soon as there is a minimal fusion of the metal, it does make it possible to control the accompanying thermal

damage and reduce the affected area to the minimum, with a level of joint strength that is acceptable for conservation purposes. It should only be carried out on areas where it is absolutely essential in order to ensure the stability of the object.

Repositioning, repair, recreation, reuse, replacements, both full and partial, and cleaning up in general

Material and chromatic reintegration should be applied to holes and cracks in those cases where it is important to recover the morphology, look or cohesion of the object, ensuring that the material used does not stand out from the original surface.

Requirements and recommendations

In the case of museum objects, the composition of the fillers should be known, be compatible with the support element, salt-free and have the appropriate characteristics of porosity, hardness and adherence. This may be a generalised or a surface treatment, using pigments (water colours, clay, acrylics etc.) that are chemically stable and which do not show changes to colouration in the medium- and long-term. If necessary additives or thickening agents can be added as long as they are innocuous and of proven stability.



Figure 28. Reconstitution of a hilt. Before and after.

Many of the objects that have had continuous use since their creation, as tends to be the case with religious objects associated with intangible values and traditions, will have been repaired a number of times by conservation non-professionals who may have altered or damaged the piece. Historical additions should be maintained if they are not damaging to the objects in question. If it is necessary to replace original elements (in the event of structural losses of essential pieces), these should be made from inert synthetic materials or from the same metal to prevent the formation of galvanic cells²³.

Paradoxical situations occur with industrial heritage objects, where an essential part of their value lies in their functional upkeep, or in the case of contemporary art, where there is a need to maintain the artist's intention and the meaning of the piece, going to the limit of "conventional" restoration, by replacing and remaking what is needed, an aspect that cannot be separated from their market-acquired value. In other areas of conservation, the loss of original material from the repositioning of elements affects the authenticity of the piece. There are differing, even diametrically opposed opinion among restorers regarding the need to establish clear criteria for these special cases. Nevertheless, there is a tendency to question major replacements of a large part of the material in objects that are part of an assembly or a contemporary art installation, which are starting to be valued as historic documents of an artistic expression.



Figure 28. Reconstitution of a hilt. Before and after.

Consolidation and protection systems

The aim is the recovery of the mechanical/physical/chemical cohesion of the metal, both structural and superficial, seeking maximum penetration of the product and its adhesion between the altered, healthy area, with a view to creating a barrier to the medium.

Requirements and recommendations

Consolidation, on occasions, is necessary as a preliminary step before cleaning, in those cases where the support of dis cohesive products of corrosion may result in detachment, the separation of laminas and exfoliation. It is advisable to carry out consolidation on clean surfaces.

The layers of protection should be stable and have no chemical interaction with the metal, and should guarantee a certain hardness durability and total reversibility, not interfering with or overshadowing the original surface. Their penetration is

²³ The metals used should be compatible with the originals. Copper should be replaced with a metal with the same composition (pure copper, brass, tin, etc.). In the case of iron, the replacement metal should be sweet iron (with a low iron content) without any lead or chromium or with a lower amount of anti-corrosion additives. Silver should be replaced with silver of a similar alloy.

limited and depends on the characteristics of the support, of the product used, and the application technique²⁴.

Methods and materials

Generally, homopolymers and copolymers are used, whose main structure is derived from acids, acrylic, methacrylic or butacrylic polymers or their esters²⁵, in varying concentrations (beginning with the lowest) and with different solvents, depending on their greater or lesser volatility and/or microcrystalline waxes²⁶ with a higher or lower fusion point.

In the case of industrial and non-museum objects, protection implies patinating, painting, galvanising, etc., acting both as a finish and a way of insulating the object from corrosion.

In certain cases where it is not possible to control the result of vandalism, such as painting and graffiti, experts should assess the suitability of applying anti-graffiti treatments to surfaces that so require them and can withstand them. These should always use materials which are suitable and reversible.



Figure 30. Eduardo Chillida, *Lugar de Encuentros II (Meeting Place II)*. Ministry of Culture. Madrid.

²⁴ It might be temporary or final, superficial, local, through immersion, etc.

²⁵ Paraloid is one of the most commonly used, both B72 and B44, as they are colourless resins which are reasonably stable. Paraloid B-44 + BTA, together with other additives form a part of the Inctalac and Inctal formulas.

²⁶ Microcrystalline waxes have synthetic formulas similar to natural waxes but they are more stable. They are not normally applied directly to the metal because although they are hydro-repellent and dull polished surfaces left by synthetic resins, they are irreversible or at least very difficult to remove when they harden and are quite unstable when subjected to environmental factors.

Supports / Assemblies

These are provided for both individual objects and groups of pieces in order to give stability, protection and maintain unity. They are used in packaging, storage and exhibitions.



Figure 31. Thymiaterion. Les Ferreres Necropolis, Calaceite, Teruel. Methacrylate support.

Requirements and recommendations

Supports should not press or produce any kind of abrasion or rubbing. They should also be resistant, discrete, inert, stable, hard-wearing and manipulable. They can also be made from metals whose interaction may produce galvanic cells or untreated wood which may emit contaminants.

Methods and materials

The materials in contact with the surface of the object should be structurally resistant and not cause abrasion, staining or rubbing. Assemblies should not be forced, unstable and should not cause physical stress.

Inert, chemically stable materials should be used which do not emit gases, acids or other substances which may cause deterioration. Certain woods should not be used, such as oak, chestnut, beech, chipboard, some types of plywood, as are oily glazes, alkyd paints, PVA, urea formaldehyde and phenol formaldehyde adhesives and silicon sealants. Other substances of protein origin such as fur, leather, wool, rayon, silk or satins should also be avoided because of their sulphur emissions. Metal supports should be isolated to avoid the formation of galvanic couples.

Objects mounted on a support should be protected from unnecessary handling and dismantling without the approval of the custodians.

Preventive conservation / Storage

It should be remembered that certain contaminants, known to be key agents in the deterioration of metal heritage (especially SO_2), now appear in radically reduced concentrations in many cities due the environmental policies implemented a few decades ago. From a preventive conservation

perspective, others which were secondary, such as VOCs²⁷, which are particularly damaging to copper, lead and zinc objects, now play a key role, and are attracting increasing interest from the scientific community. The abundance of these compounds in interior atmospheres is due to the existence of the numerous materials that emit them and their accumulation in closed-off, poorly ventilated areas such as museum cases²⁸.

Objects do not tend to be stored or exhibited with these characteristics taken into account. Frequently, in the same room or case a wide range of materials coincide, making it difficult to ensure a balance between favourable environmental conditions for all the pieces and posing serious conservation difficulties, as relative humidity for metals should not exceed 35%, making it generally unsuitable for compound metals and other materials. The use of humidity and temperature control systems is recommendable, avoiding fluctuations in humidity and temperature (due to the relationship with the increase or decrease in relative humidity percentages). The recommended lighting level to maintain protection levels is between 150 and 200 lux, with a radiation component below 75 mW/lumen.

If objects need to be handled, it should be done with non-breathable gloves, avoiding contact with the hands at all times.

For storage purposes, small (totally dry) pieces should be wrapped in Japanese paper and placed in suitable hermetically-sealed plastic containers. Within each recipient, although never coming to contact, oxygen-absorbent elements should be placed²⁹ which stabilise the humidity along with anticorrosive elements³⁰.

In those cases where the object is outside, direct contact with the ground should be prevented via supports or support structures, paving, platforms or well-drained foundations. It is important to ensure that water does not accumulate or exposed to splashing, water sprinklers, etc. Reinforced structures should be used with heavy objects. Ensure the watertightness of joints, lock brakes and use vehicle immobilisation systems.

Objects which contain organic elements (wood, textiles, tapestries, leather or fur, plastic elements or rubber seals and joints, etc.) are very susceptible to bio-deterioration and humidity. Rubber is especially sensitive to humidity, and can compromise the conservation of other elements. In duly justifiable cases, the option of replacing rubber pieces can be considered, keeping the originals (or samples), duly documented.

In certain cases covers, overhangs or protective sleeves can be installed, preferably placed on a small structure to avoid direct contact with the surface and allow air circulation (avoiding condensation).

In the case of cultural assets currently in use, such as religious, ceremonial or ritual objects, musical instruments, etc., the use of replicas is recommended. Where this is impossible, a study of the measures to be implemented should be undertaken. These should include, among others,

²⁷ Volatile organic compounds, originating from the evaporation of organic solvents and the use of transport fuels. Among the most hazardous to metals are aldehydes and organic acids (acetic and formic).

²⁸ They can even form part of the manufacturing technique of an object or the materials used in the museum case or its furniture and fittings.

²⁹ Silica gel such as Artsorb is quite effective.

³⁰ Vapour-phase absorbents such as Carosil, Corrosion Intercept-type treated bags.

the reduction of the frequency of use, the limitation of the number of people authorised to see or handle the object and their basic training in terms of manipulation.



Figure 32. Replica of a necklace from the Treasure of El Carambolo. The National Archaeological Museum, Madrid. The original can be found in the Seville Archaeological Museum.

In the case of “ephemeral” objects, or where deterioration is understood to form part of the idea, preventive conservation is of fundamental importance to lengthen the life of the piece - although on a philosophical level, it might be questioned to what point it is legitimate to intervene in this type of object when its natural evolution is to toward deterioration, preventing it from reaching its conceptual target due to market forces.

Safety and sustainability

Conservation-restoration treatments for metal objects often mean the use of a number of chemical products which may generate contaminants. The professional should take into account the hazard potential of these materials, with intervention commencing with the least toxic in each case. The use of individual and collective protective measures and waste management regulations should be observed.

Routine inspection programming

Prevention is a selective measure which minimises the causes of alteration to Cultural Assets. Routine action and maintenance should be programmed based on the requirements of the objects or institutions. In order to programme this action it is essential to be fully aware of the piece and its state of conservation. Regular inspections allows control over whether the damage increases or remains at the same level. This means the seriousness can be anticipated, determining the cause of the alteration and the method to be used to remove it.

This programming should be performed by a team from the custodian’s institution based on a previously established routine, bearing in mind that Cultural Assets should only be handled by restorers and conservation experts or those that they authorise to do so under their supervision.

Transfer
of knowledge

Report and dissemination of the project

As part of the series of regulations concerning the protection of cultural heritage, the conservation of heritage should conclude, by law, with a report outlining all the documentation gathered together and set out in the various phases of the intervention. This should be followed by publication of the results and the public presentation of the object, not only for reasons of education and disclosure but also as a way of justifying public spending.

From an international perspective, probably the most important aspect of the work undertaken and how it has evolved over recent years can be found in various courses, congresses and publications.

Congresses such as *Metal*, which the International Council of Museums Conservation Committee Metal Working Group (ICOM-CC Metal WG) has organised since 1995, and their annual reports, which highlight the real work required for the conservation of metals, and the key research that is carried out, are essential to the scientific understanding of the phenomena affecting metals.

In Spain, publications on conservation and restoration, specifically on that of metals, has been scarce, limited to the odd press release in scientific magazines. Although they are few in number, they have nevertheless clearly increased since the year 2000, with two congresses held in recent years focusing on the subject: MetalEspaña'08, held at Madrid's Universidad Autónoma in 2008; MetalEspaña'15 held at Real Casa de la Moneda, Segovia; and the 4th Latin-American Metal Conservation and Restoration Congress, held in Madrid in 2011 and organised by the Ministry of Culture.

As far as books and monographs are concerned, resources in Spanish are also somewhat lacking, although there have been some publications by the IPCE, the Spanish Institute of Cultural Heritage: *La técnica radiográfica en los metales históricos* ("Radiographic Techniques and Historic Metals"), *Técnicas metodológicas aplicadas a la conservación-restauración del patrimonio metálico* ("Methodological Techniques Applied to the Conservation and Restoration of Metal Heritage") and *El Relicario de Santa Lucía. Restauración, análisis y estudio histórico-artístico* ("The Reliquary of Saint Lucia - Restoration, Analysis and Historic-Artistic Study").

Within an international context, we should highlight the recently published "*Corrosion and Conservation of Cultural Heritage Metallic Artefacts*". This book, published by the *European Federation of Corrosion*, is an extensive review of the R&D&I relating to the study, conservation and restoration of metals. Although this is a highly scientific book, it is nonetheless of undoubted interest to anybody working on the conservation of metals who wants to be kept up-to-date on scientific advances in this field.

Although not a scientific publication, but rather an informative bulletin on projects and events related to the conservation of metals, mention should also be made of BROMEC (*Bulletin of Research on Metal Conservation*). This on-line bulletin, translated into Spanish, mainly includes summaries that synthesise activities from any stage of the research process regarding the conservation of metals – project proposals, ongoing investigation and concluded studies.

Conclusion

This document, prepared within a theoretical and conceptual framework, seeks to outline a series of courses of action regarding the conservation of metal cultural heritage.

The conservation and restoration of metal heritage is a subject which, despite its wide-ranging application, is not considered to be a specialist area by any academic institution. It is not easy to become a specialist in a given area, which, due to its characteristics, covers numerous disciplines in the humanities and sciences.

Professionals dedicated to the conservation of metals should seek out quality based on multidisciplinary requirements in keeping with an ethical code of practice, of fundamental importance in guaranteeing the survival of materials which in most cases are highly unstable. We propose a series of strategic courses of action including:

The reinforcement of an academic trajectory focusing on the teaching of subjects related to the conservation of metals. It should be underlined that these courses of action should prioritise training as this is the area which will have most influence on future professionals.

This training and the systematic assessment of these educational models should work continuously in order to adapt the professional profiles to the needs of innovation in conservation and restoration.

The reinforcement of research. We need responsibility for direct contributions to the advancement of knowledge, innovation and scientific and technological development that will play a major role in the conservation of metal heritage.

Strategic lines of management should be defined *a priori*. It is essential to start up specific metal conservation programmes, promoting models of cooperation between social and institutional needs, linking organisations related to these disciplines intra- and inter-institutionally through inter-institutional committees, accords and agreements in order to make the formation of partnership networks between professionals and/or educational projects more viable.

Bibliografía / References

- ANTELO, T.; BUESO, M.; GABALDÓN, A., y COSTEA, A. M. (2011): *La técnica radiográfica en los metales históricos*, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Madrid.
- ASHTON, J., and HALLAM, D. (eds.) (1998): *Metal 98. Proceedings of the International Conference on Metal Conservation*, James & James, London.
- (2004): *Metal 04. Proceedings of the International Conference on Metal Conservation*, National Museum of Australia, Canberra (Australia).
- BARRIO, J., y CANO, E. (eds.) (2008): *MetalEspaña '08. Congreso de conservación y restauración del patrimonio metálico*, Universidad Autónoma de Madrid.
- BARRIO, J., y CHAMÓN, J. (2011): *Proyecto Dorados: tecnología, conservación y restauración de los metales dorados medievales*, Madrid.
- BROMECC - Bulletin of Research on Metal Conservation.
- DEGRIGNY, C.; VAN LANG, R.; JOOSTEN, I., and ANKERSMITH, B. (eds.) (2007): *Metal 07. Proceedings of the Interim meeting of the ICOM-CC Metal WG*, Rijksmuseum Amsterdam, Amsterdam.
- DÍAZ, S., y GARCÍA, E. (2011): *Técnicas metodológicas aplicadas a la conservación-restauración del patrimonio metálico*, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Madrid.
- (2013): *V Congreso Latinoamericano de Conservación y Restauración de Metal*, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Madrid.
- DILLMANN, P.; WATKINSON, D.; ANGELINI, E., and ADRIAENS, A. Eds. (2013): *Corrosion and conservation of cultural heritage metallic artefacts*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge (UK).
- EGGERT, G., and SCHMUTZLER, B. (eds.) (2010): *Archaeological Iron Conservation Colloquium*, State Academy of Art and Design Stuttgart. Session 1/ Session 2/ Session 3/ Session 4
- (2012): *Bronze Conservation Colloquium*, State Academy of Art & Design. Stuttgart.
- HYSLOP, E.; GONZÁLEZ, V.; TROALEN, L., and WILSON, L. (eds.) (2013): *Metal 2013. Proceedings of the Interim meeting of the ICOM-CC Metal WG*, Historic Scotland, Edinburgh, Scotland.
- MARDIKIAN, P.; CHEMELLO, C.; WATTERS, C., and HULL, P. (eds.) (2011): *Metal 2010. Proceedings of the Interim meeting of the ICOM-CC Metal WG*, Clemson University, South Carolina (EE. UU.).
- MACLEOD, D.; PENNEC, S. L., and ROBBIOLO, L. (eds.) (1997): *Metal 95. Proceedings of the International Conference on Metal Conservation*, James & James, London.
- MACLEOD, D.; THEILE, J. M., and DEGRIGNY, C. Eds. (2004): *Metal 2001: proceedings of the international conference on metals conservation*, Western Australian Museum, Welshpool (Australia).
- NAVARRO, P. (2010): "La restauración de orfebrería: alteraciones y criterios de intervención", *Estudios de Platería: San Eloy*, Murcia.
- PEÑUELAS GUERRERO, G.; CONTRERAS VARGAS, J., y TAPIA, M. P. (2011): *Notas Corrosivas. Memorias del 3.º Congreso Latinoamericano de Restauración de Metales*, Encrym, México.
- SELWYN, L. (2004): *Metals and Corrosion: A Handbook for the Conservation Professional*, Canadian Conservation Institute, Ottawa (Canada).
- The Metal Working Group, ICOM - CC

