

LA CONSERVACION Y RESTAURACION DEL BRONCE

SOCIRA (Sociedad Civil de Restauración Arqueológica)

Coordinadora: Emma García Alonso. Restauradora del I. C. R. B. C. Ministerio de Cultura

El bronce y la corrosión

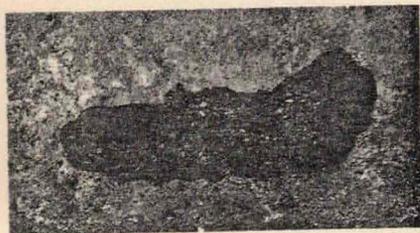
Con el nombre de bronce se conocen una serie de aleaciones de metales cuya base es el cobre. Su corrosión es debida a ciertas reacciones químicas o electroquímicas que actúan en mayor o menor grado según sea la composición del metal, el sistema de fabricación y las condiciones del ecosistema al que está expuesto. Las propiedades inherentes a los metales (conductividad eléctrica, potencial de oxidación-reducción...) constituyen, en sí mismas, factores de alteración. A éstos hay que añadir factores «activos» que dependen del medio ambiente tales como humedad, temperatura, aireación, productos diversos en suspensión o disolución, etc. Estas condiciones activarán un proceso corrosivo de mayor o menor intensidad, pero que, de cualquier manera, producirá cambios notables en la forma y estructura metálica originales.

Cuando el metal está enterrado, su grado de corrosión se intensifica según la acidez, porosidad y contenido en sales del suelo en el que se encuentra. El grado de humedad y el contenido de sales son los factores que propician la reacción electroquímica. Con el tiempo, es frecuente que se llegue a una estabilización del proceso corrosivo equilibrándose, entonces, la relación entre el metal y el medio ambiente. La excavación supone la ruptura de ese equilibrio y el contacto con otro ecosistema, con lo que se renueva la actividad destructora. El efecto corrosivo de la atmósfera es inferior al de los suelos o al del agua y varía de unas zonas a otras según el grado de humedad, la temperatura y los contaminantes. Por lo que respecta a los broncees sumergidos, el hecho de encontrarse inmersos en un medio acuoso hace que estén expuestos a una serie de condicionantes especiales. Al ser el agua el electrólito universal es, logicamente, el ecosistema que más favorece la corrosión electroquímica ya que el metal se disuelve en el electrólito por el fenómeno conocido como tensión de disolución. Dependiendo de las características del agua en el que estén las piezas, el grado de corrosión que presentan será mayor o menor. La elevada presencia de sales y, más concretamente, de cloruros, en el agua de mar junto con la humedad se convierten en los dos factores más importantes que inciden en la corrosión.

restauración - conservación - bronce



FRAGMENTO DE DEDO DE AZAILA (TERUEL) [45]. (Foto SOCIRA)



MACROFOTOGRAFIA DE UN OXIDO DE COBRE. (Foto SOCIRA)

Aunque es frecuente encontrar metales sumergidos recubiertos total o parcialmente por organismos marinos, el caso del bronce es especial dado su carácter tóxico para estos últimos. La presencia de incrustaciones distribuidas de forma irregular en la superficie metálica puede dar lugar al fenómeno de aireación diferencial debido al distinto aporte de oxígeno a las zonas recubiertas que a las que no lo están. Esto ocurre también en el caso de broncees parcialmente enterrados en el lecho marino, las zonas que reciben un mayor aporte de oxígeno sufren una corrosión más acelerada que las que están enterradas.

Otro factor condicionante es la temperatura del agua puesto que en aguas frías, al ser mayor la solubilidad del oxígeno, existe una mayor velocidad de corrosión. Reinhart, por otra parte, ha estudiado la incidencia de la profundidad en esta última, llegando a la conclusión de que disminuye a medida que aumenta la profundidad.

La composición del agua determina también ciertos fenómenos de corrosión. La concentración elevada de calcio y magnesio, por ejemplo, favorece la creación de una película protectora en la superficie de los objetos gracias a la formación de carbonatos e hidróxidos que hacen una función de barrera para el acceso de oxígeno.

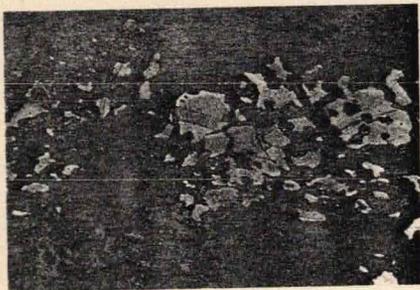
La naturaleza intrínseca del objeto en cuanto a su composición, estructura e irregularidades de fabricación, así como la existencia de grietas o fisuras, determinan igualmente ciertos procesos de corrosión.

Si el bronce tiene en su proximidad otros metales se puede originar lo que conocemos como pares galvánicos, de tal forma que el metal menos noble se corroe rápidamente retardando, sin embargo, la corrosión del más noble.

La corrosión transforma el metal de origen en una serie de productos minerales muy diversos. El grado de corrosión se mide, de hecho, por la cantidad de productos que se han originado a partir del elemento metálico primitivo. Estas capas de alteración avanzan desde el exterior y transforman el aspecto estético del objeto de manera importante.

En el caso del bronce, podemos clasificar sintéticamente sus productos de alteración en estables e inestables. Los primeros (carbonatos, óxidos de cobre, etc.) son fases finales del proceso corrosivo y se caracterizan por la gran estabilidad frente al ataque químico. Los inestables, cloruros entre otros, mantienen activa la corrosión y desaparecen únicamente cuando han destruido el núcleo metálico de bronce en su totalidad. Estos últimos, contribuyen a la aceleración del proceso corrosivo tras la excavación arqueológica.

MICROFOTOGRAFIA DE METALOGRAFIA. MONEDA ROMANA. (Foto SOCIRA)



La pátina y los criterios de restauración

Una consecuencia directa de las reacciones ambientales sobre el metal es la formación de pátinas. No seremos nosotros quienes definamos el concepto ya que las opiniones son muy diversas y cada país, cada escuela, tienen una definición particular. En los metales la pátina se identifica, a grandes rasgos, como un producto de alteración distribuido uniformemente sobre una parte o sobre la totalidad del objeto identificándose, en el caso del bronce, con capas de alteración estables que frecuentemente aparecen recubriéndolo. Es evidente que se ha abusado del término y se ha aplicado indistintamente para definir conceptos contradictorios. De cualquier forma su uso en la descripción de productos de corrosión sigue siendo, en nuestra opinión, válido.

Las pátinas naturales se forman tras un proceso corrosivo muy largo por lo que constituyen un dato histórico relevante y proporcionan, en ocasiones, una capa de protección natural que impide que aumente el proceso de degradación dando, al mismo tiempo, información sobre ciertos aspectos de la fabricación del metal.

Llegados a este punto, es necesaria la existencia de unas reglas del juego, de unos «criterios» que encaucen la postura ética del restaurador. Ante cada trabajo surge un planteamiento distinto y una toma de postura con el fin de salvaguardar la información de que es poseedor el objeto y esto es lo que determina la elección del criterio de restauración. Los criterios actuales, en el caso concreto del bronce, van encaminadas al respeto de la pátina siempre que sea posible.

Aspectos previos a la restauración

La restauración en sí, entendida como la manipulación directa de la obra ha de estar sujeta a la salvaguarda de la integridad física del material con la finalidad de transmitírselo a generaciones futuras, sin alterar las características esenciales que lo conforman. Por eso, la elección y aplicación del tratamiento ha de limitarse estrictamente a su conservación, estabilizando los procesos de degradación y asegurando la absoluta reversibilidad de los materiales que se utilicen. Admitiendo el carácter científico de la restauración, es importante seguir una metodología. Al fin de mejorar la comprensión de los efectos que el tratamiento puede producir, conviene obtener *a priori* el mayor número de información posible sobre cada pieza. Esta recopilación informativa se realiza estableciendo un plan de investigación conjunto, y de ahí la necesidad de colaboración entre una vasta gama de profesionales de disciplinas técnicas y humanísticas.

El estudio profundo de la pieza a tratar facilita la obtención de ciertos datos como composición, técnica de fabricación, estado de conservación..., que nos permitirán establecer un detallado plan de restauración. Los sistemas que se utilizan para tal fin son muy diversos y van desde un simple examen visual hasta complicados sistemas de análisis. Algunos medios como el dibujo y la fotografía (luz rasante, macro y microfotografía), usados para la documentación de los objetos facilitan su mejor conocimiento. A partir de estos sistemas existen numerosos y sofisticados métodos analíticos: fotografías con fuentes de luz especial, radiografías, tests químicos, metalografías, espectrografías, endoscopias, tomografías, etc.

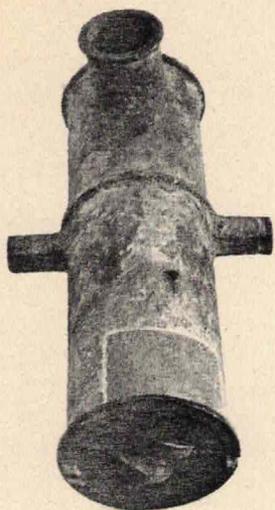
El último paso consiste en recoger datos tales como la atribución cronológica o las condiciones del hallazgo, por ejemplo, que junto con los proporcionados por el análisis, nos ayudan a elaborar una ficha técnica que recoge la propuesta de tratamiento.



GENIO DEL SENADO DE MERIDA [79]. (Foto Archivo ICRCB)

VALVULAS INTERIORES. BOMBA DE AGUA DE SOTIEL-CORONADA (HUELVA) [310]. (Foto SOCIRA)





CATA DE LIMPIEZA MECANICA. BOMBA DE AGUA DE SOTIEL-CORONADA (HUELVA) [310]. (Foto SOCIRA)

El tratamiento

En primer lugar, si una pieza no presenta la resistencia necesaria para ser manipulada deberá llevarse a cabo una fijación previa que nos permita realizar las operaciones de conservación-restauración que dicha pieza requiera. Dependiendo de su estado de conservación puede ser necesario hacer un engasado, reforzar zonas débiles o hacer soportes provisionales para las zonas más frágiles. En el caso de piezas muy pequeñas o de un grosor mínimo cuyo grado de mineralización sea considerable se deberá hacer una consolidación para conferirles cierta consistencia.

La limpieza va encaminada a conseguir la adecuada legibilidad del objeto. Podemos distinguir distintos tipos según los medios de los que nos valemos para llevarla a cabo. La limpieza mecánica tiene un carácter puramente físico y permite eliminar capas de productos de corrosión más o menos gruesas. En ocasiones, es suficiente con este tipo de limpieza para obtener acabados adecuados.

La limpieza química se basa en la utilización de sustancias ácidas o básicas que permiten ablandar productos de alteración, disolver incrustaciones, solubilizar sales, etc.

Las limpiezas electroquímicas y electrolíticas sólo son aplicables cuando existe núcleo metálico y, únicamente, en ciertos casos. Son prácticas para ablandar y reducir las incrustaciones y siempre tienen que ir seguidas de la neutralización necesaria y de la eliminación total de los productos solubles utilizados durante el tratamiento así como de las sustancias químicas que puedan quedar en las piezas para que no sigan reaccionando con el metal. El secado, a su vez, es muy importante de cara a la conservación posterior del objeto ya que, si quedara agua en los poros, podría originar un electrólito que favorecería la corrosión.

Para estabilizar los bronce se utilizan inhibidores que ejercen la función de películas protectoras que evitan o retardan la corrosión mientras que para aislarlos del medio y evitar, de este modo, un nuevo ataque se aplican capas de protección generalmente sintéticas.

En caso de que la pieza estuviese fragmentada habría que unir los fragmentos, rellenar las grietas y, si fuera el caso, reintegrar las lagunas o las zonas inexistentes, operación ésta que se suele llevar a cabo con materiales sintéticos.

La conservación en depósitos y almacenes

Para asegurar la adecuada conservación de las piezas un paso fundamental es su mantenimiento, tras la intervención, en depósitos y almacenes. Los objetos deberían encontrarse en un entorno adecuado, cualquiera que sea su emplazamiento en el museo. Factores tales como la humedad, los cambios de temperatura, el polvo, la luz, la polución y el estancamiento del aire pueden propiciar considerablemente la destrucción de las colecciones. Muchas de las técnicas destinadas a protegerlos, así como ciertos tratamientos de restauración, serían, en ocasiones, innecesarios, si se controlase el entorno climático.

Es preciso definir las condiciones de estabilidad de los objetos antes de adoptar las medidas necesarias que aseguren su perfecta conservación.

La estabilidad de un cuerpo, sólo se puede definir en función de su entorno, ya que entre ambos se establece frecuentemente un equilibrio que se rompe, por ejemplo, tras la extracción en la excavación, comenzando otra vez el objeto a evolucionar hasta alcanzar una nueva situación estable. De no producirse la estabilidad, el entorno actuaría de motor en esta evolución degradativa que denominamos corrosión. Por este motivo es absolutamente necesario determinar en qué momento se produce un desequilibrio para poder contrarrestarlo.

El entorno que nos rodea se compone de diferentes fuerzas que actúan en conjunto: humedad, temperatura, gases, componentes sólidos, luz, vibraciones, etc.

La humedad es un factor de gran influencia en la acción electroquímica y biológica. Está demostrado que los cambios de humedad relativa son el desencadenante y activador más energético de la corrosión. Una humedad relativa superior al 50 % activa los cloruros cúpricos, formando ClH que destruye enérgicamente el metal (Cu).

Para modificar la humedad relativa en un depósito, se puede crear una atmósfera seca, utilizando desecadores o climatizadores de aire en las vitrinas.

El uso de desecadores, industriales o químicos, está generalizándose, siendo el más conocido el gel de sílice, que, a su vez, actúa como indicador, ya que cambia su color de azul a rosa en presencia de humedad.

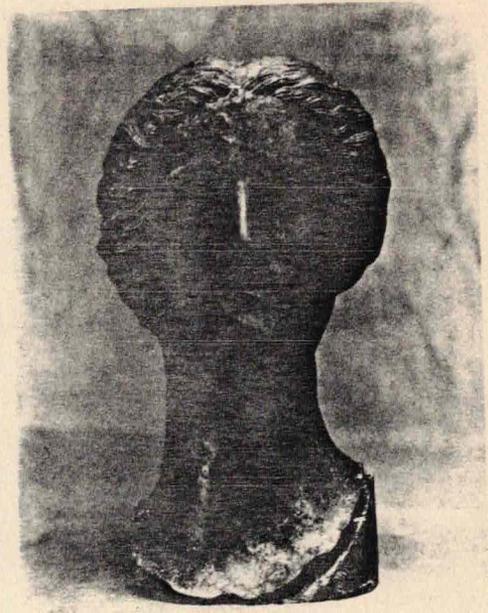
Los cambios bruscos de temperatura pueden dar lugar a dilataciones, por lo que conviene mantener las vitrinas y los almacenes a una temperatura ligeramente inferior a la ambiental para facilitar una emigración de la humedad hacia zonas más cálidas.

La modificación de la temperatura se realiza mediante climatizadores y acondicionadores de aire.

De los gases contenidos en el aire, el oxígeno y el anhídrido carbónico son los más corrosivos, puesto que combinan fácilmente con los átomos metálicos. La



PROCESO DE INHIBICION. FIGURA MASCULINA DE BELO (CADIZ) [185]. (Foto SOCIRA)



ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO. CA-
BEZA FEMENINA DE AZAILA (TERUEL) [46]. (Foto
Archivo ICRBC)

solución ideal sería conservar la pieza de bronce en una atmósfera inerte o al vacío.

El hidrógeno sulfuroso, que empaña el bronce, es un componente de los materiales orgánicos con base proteínica como la lana, el cuero, el pergamino, algunos tejidos y el caucho. Otros compuestos orgánicos nocivos son los ácidos acético y fórmico, presentes en las maderas que se utilizan algunas veces en vitrinas y almacenes, como, por ejemplo, el roble, que tiene un alto poder corrosivo.

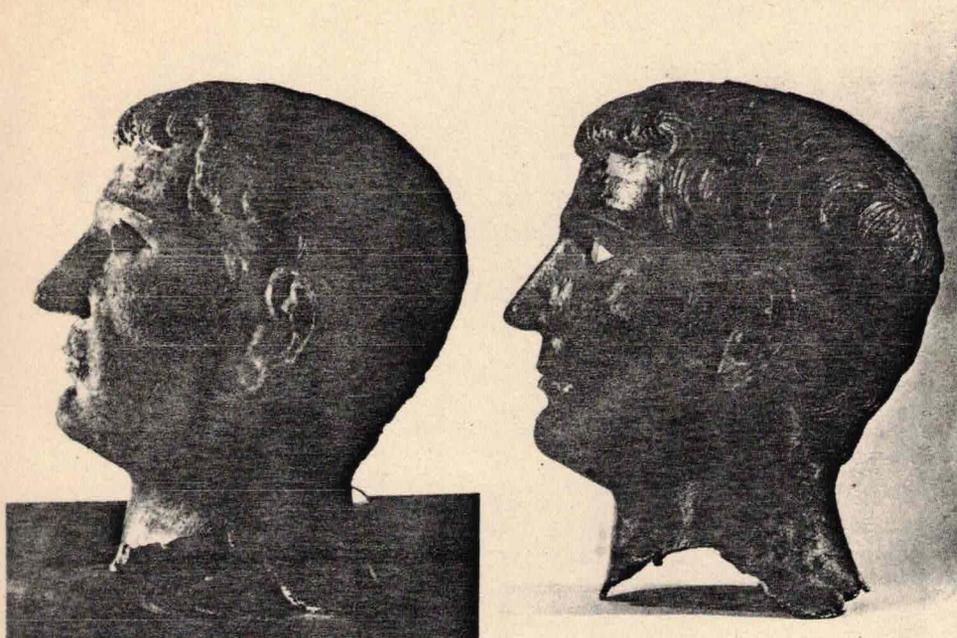
Para evitar emanaciones y expansiones de gases nocivos habrá que seleccionar materiales inocuos en la construcción de vitrinas y estanterías, tales como vidrio, metacrilato, etc., emplear compartimentos y vitrinas estancos, y disminuir la humedad relativa.

La presencia de partículas sólidas puede desencadenar corrosión por reacciones electroquímicas en la superficie del objeto. Si coincide con una elevada temperatura y humedad relativa, la presencia de microorganismos productores de acidez provoca alteraciones progresivas en la superficie de los objetos.

Para evitar el contacto con estas partículas sólidas, se utilizarán en el almacenaje bolsas de polietileno y recipientes herméticos, siempre que sea posible, y la aplicación de bactericidas y fungicidas en el área de almacenamiento. Las vitrinas de exposición, por tanto, serán herméticas, con un alimentador de aire seco con aspirador de polvo en el interior.

El espectro lumínico emite radiaciones que cubren distintas longitudes de onda, más destructoras cuanto más cortas. Estas radiaciones pueden provocar el comienzo de la corrosión, variando la temperatura en la superficie del objeto debido a un efecto diferencial. Aunque en principio, la intensidad lumínica no produce un efecto corrosivo sobre el metal, hay que evitar una incidencia directa del foco sobre la pieza, evitando así la elevación térmica de la misma.

Otro factor a tener en cuenta es el desgaste que ocasionan en los objetos, ya deteriorados, las vibraciones y el mal uso. Estos riesgos están comprendidos en



ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO. CABEZA MASCULINA DE TIERMES (SORIA) [56].
(Foto Archivo ICRBC)

todos los sistemas de transporte y almacenamiento: carretillas, cajones de difícil cierre, etc.

Los hay también provenientes del exterior: circulación, ascensores, etc. Estos riesgos han de considerarse desde el momento en que se eligen los sistemas de dotación para el museo.

El almacén tipo tendría una temperatura constante de 10-15° C, y debería ser oscuro, seco, carente de vibraciones y con recipientes apropiados para los objetos.

Respecto al transporte y embalaje, se ha de diferenciar entre uno provisional (por ejemplo, de la excavación al museo), y otro definitivo para posteriores traslados. El más apropiado es el embalaje rígido (madera, plástico, fibra) con el interior mullido a base de plástico de burbuja, poliuretano expandido, porexpán en plancha, o serpentinas y gomaespuma. Los objetos se protegerán con una bolsa de plástico con pequeñas perforaciones para permitirles la transpiración antes de embalarlos.

Hay que destacar que una buena conservación de los materiales evitará, en lo posible, los tratamientos de restauración, ayudando a mantener la pieza en óptimas condiciones durante el mayor período de tiempo.

La polución atmosférica, mal endémico de nuestro siglo, acelera de forma rapidísima los procesos de alteración de las piezas que forman nuestro patrimonio, por lo que la importancia de la conservación es primordial. La única manera de asegurar esta conservación, es la concienciación general al respecto, y la utilización de la metodología y los medios adecuados por parte de técnicos cualificados.

Los tratamientos de conservación-restauración de las piezas seleccionadas para la exposición de «Bronces Romanos en España» se han efectuado, bajo la supervisión del I.C.R.B.C., siguiendo los criterios generales anteriormente expuestos, atendiendo a las características particulares de cada obra.

PRODUCTOS DE ALTERACION DE LOS BRONCES

Carbonatos

Malaquita:	Carbonato básico de Cobre.	$Cu_2[(OH)_2 CO_3]_2$. Color verde mate.
Azurita:	Carbonato básico de Cobre.	$Cu_3(OH CO_3)_2$. Color azul.
Auricalcita:	Carbonato de Cinc-Cobre.	$(ZnCu)_5[(OH)_3 CO_3]_2$. Color azul celeste.
Cerusita:	Carbonato de Plomo.	$PbCO_3$. Color incoloro o blanco con reflejos grisáceos.

Cloruros

Atacamita:	Cloruro básico de Cobre.	$Cu_2(OH)_3Cl$. Color verde brillante.
Paratacamita:	Cloruro cúprico hidratado.	$CuCl_2 \cdot 2(H_2O)$. Color verde.
Nantoquita:	Cloruro cúprico.	$CuCl$. Color gris pálido.
Cotunnita:	Cloruro de Plomo.	Cl_2Pb . Color gris azulado.
Fosgenita:	Cloruro de Plomo en piezas sumergidas.	$Pb_2[Cl_2 CO_3]$. Color amarillo ámbar o incoloro.

Oxidos

Tenorita:	Oxido cúprico.	CuO . Color negro.
Cuprita:	Oxido cuproso.	Cu_2O . Color rojo rubí oscuro, alterado, a veces, superficialmente, en malaquita.
Massicot:	Oxido de Plomo.	PbO . Color amarillo rosado.
Casiterita:	Oxido de Estaño.	SnO_2 . Color oscuro-negro.

Sulfatos

Linarita:	Sulfato de Plomo y Cobre.	$PbCu [(OH)_2 SO_4]$. Color azul intenso.
-----------	---------------------------	--

Sulfuros

Covellina:	Sulfuro cúprico.	CuS . Color azul índigo.
Calcosina:	Sulfuro cuproso.	Cu_2S . Color gris plomo, alterado superficialmente en negro y verde.
Enargita:	Sulfuro doble de Cobre y Arsénico.	Cu_3AsS_4 . Color negro o gris ferruginoso.
Calcopirita:	Sulfuro de Hierro y Cobre.	$CuFeS_2$. Color amarillo oscuro.

Silicatos

Crisocola:	Silicato hidratado de Cobre.	$Cu_4H_4 [(OH)_8 Si_4O_{10}]$. Color verde brillante o azulado.
------------	------------------------------	--

Además de los ya mencionados, existen otros productos de alteración como **fosfatos**, **nitratos**, y sustancias asociadas o incrustadas como **calcita**, **óxidos férricos**, etc.

Al ser el bronce una aleación de diferentes metales y aparecer en algunas piezas, soldaduras o decoraciones (por ejemplo: nielados, damasquinados), es difícil determinar cualitativa o cuantitativamente todos los productos de alteración en una misma obra, ya que estos fenómenos corrosivos son reacciones electroquímicas por las que átomos de metal se combinan con productos del medio ambiente.

Bibliografia

Accardo, G.; Vigliano, G., *Strumenti e materiali del Restauro*, Roma, 1989.

Ashurst, John, *Practical building conservation*, vol. 4 - Metals, 1988.

Binaghi, *La metallurgia dei tempi dell' impero romano*, Roma, 1946.

Bresle, A.; Sears, J., *Studies in pitting corrosion on archaeological bronzes copper*. Technical report, 1983, n.° 5, 1985.

«Due bronzi da Riace», *Bolletino d'arte. Ministero per i beni culturali e ambientali*, Roma, 1984.

Forbes, R. J., «Metallurgy in antiquity». *Studies in ancient technology*, vol. IX. Leiden, 1972.

France Lanord, A., *La conservation des antiquites metalliques*. Centre de Recherches de L'Histoire de la siderurgie, Jarville, 1965.

Guichen, G., «Catálogos de la exposición itinerante sobre el control del clima en los Museos», septiembre, 1979.

«Il volto di Germanico», *Soprintendenza archeologica per l'Umbria*, Roma, 1988.

López Marcos, M. A., «Los condicionantes de la corrosión en los metales sumergidos», *Pátina*, n.° 2, 1987.

Michele, M., «Indagini preliminari sullo stato di conservazione del Marco Aurelio». *L'impresa del restauro*, Bologna, 1985.

Mourey, W., *La conservation des antiquites metalliques de la Fouille au Musée*, L.C.R.R.A., 1987.

Pearson, C., *Conservation of marine archaeological objects*, Ed. Butterworths, 1987.

Tylecote, R. F., *History of metallurgy*, The Metal Society, Londres, 1976.

UNESCO, *La conservación de los bienes culturales. - La mise en reserve des collections de Musée. - La conservation des materiaux subaquatiques*. Colección «Museos y Monumentos».