

1. El examen científico aplicado a los metales

En el momento de la extracción, una primera identificación puede resultar errónea. Las distintas incrustaciones o apariencias de los productos de corrosión dificultan la comprensión formal y material del objeto arqueológico.

Bertholon y Relier, definen la superficie original como “el límite entre aquello que pertenece al objeto (partes metálicas y otras partes minerales u orgánicas) y el medio en el momento de su abandono”. A partir de esta definición se articula y se fija la estratificación metálica, junto a los **productos de corrosión internos y/o externos**, pudiendo ser idénticos, con la

diferencia de su situación respecto a la superficie original. Los productos internos/externos de corrosión están caracterizados por compuestos minerales u orgánicos procedentes del entorno inmediato.

La Carta Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico adoptada por el ICOMOS en 1990, en su artículo 5, define el marco de actuación científico para el conocimiento de las piezas arqueológicas:

“(…) el conocimiento se basa fundamentalmente en la intervención científica en el yacimiento. Tal intervención abarca toda la gama de métodos que van desde la exploración no destructiva hasta la excavación integral, pasando por sondeos limitados o toma de muestras.

Hay que admitir como principio indiscutible que la recopilación de información sobre el patrimonio arqueológico sólo debe causar el deterioro mínimo indispensable de las piezas arqueológicas que resulten necesarias para alcanzar los objetivos científicos o de conservación previstos en el proyecto. Los métodos de intervención no destructivos --observaciones aéreas, observaciones in situ, observaciones subacuáticas, análisis de muestras, catas, sondeos- deben ser fomentados en cualquier caso, con preferencia a la excavación integral.”¹

En un proyecto integral de intervención, el laboratorio completa los datos, investigando sobre la naturaleza de los materiales utilizados, la metodología del artista y el comportamiento de la obra a través del tiempo. Los científicos nos ofrecen datos decisivos

¹ICOMOS. *Carta Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico* [en línea] (1990) [consulta 16-10-2006]

sobre caracterización de muestras (origen, naturaleza, morfología...) y agentes degenerativos.

Para una colaboración adecuada entre el científico y el restaurador, cada uno debe tener un conocimiento básico de la otra disciplina profesional, de manera que pueda producirse una comunicación completa y eficaz. Por ese motivo a continuación se expone el repertorio de análisis científicos disponibles para el examen de los metales en particular. Evidentemente, estas experiencias científicas se extienden a otros materiales artísticos, quedando fuera del objeto de la presente investigación. Para facilitar la comprensión y la decisión de elección de un método u otro, los

<http://www.esicomos.org/nueva_carpeta/info_DOC_ARQUEO.htm>

exámenes se dividen en destructivos y no destructivos, aunque de entre los primeros, pueden diferenciarse los que necesitan una micro muestra de los que requieren una muestra representativa de la pieza. A menudo el muestreo resulta confuso, si no cuenta con una extracción acorde con los problemas o estudios que queramos analizar. Para ello debemos tener en cuenta algunas exigencias (Matteini y Moles, 2001: 25):

- a) Número mínimo de muestras
- b) Dimensiones mínimas
- c) Máxima representatividad del problema de la pieza
- d) Elección de los puntos de muestreo para reducir el impacto estético-material.

e) No contaminación de la muestra, tanto en la extracción como en el período precedente.

No siempre los datos analíticos son fiables. Se debe tener en cuenta que existen diferencias en la composición química si la muestra se ha obtenido de la superficie del objeto o en su interior; que, en los bronce más antiguos, los metales que componen la aleación tienden a aislarse por cristalización; que el plomo tiende a concentrarse en la parte baja del colado. El conocimiento de la composición de las aleaciones, podría aportar gran cantidad de datos objetivos sobre la procedencia de la obra, sobre su fecha de ejecución y por lo tanto sobre su autenticidad.

Para un correcto estudio de las piezas arqueológicas metálicas, se debe seguir una

metodología de trabajo tanto en el análisis de dichas piezas, como en la evaluación del entorno que las rodea.

En un esfuerzo para ajustar esta metodología, habrá que tener en cuenta los siguientes puntos (Criado y otros, 2000: 29):

- a) Estudio del metal: composición, impurezas, procesos de fabricación, etc. Para lo cual se van a utilizar una serie de técnicas como el análisis metalográfico, la microscopía electrónica, la difracción de Rayos X y la micro sonda electrónica.
- b) Datación: La datación se suele realizar mediante el contexto que rodea la pieza, pero en algunos casos es necesario recurrir a otros análisis como la metalografía comparativa de referencias arqueológicas.

c) Estudio y caracterización de los óxidos formados: la caracterización, velocidad de corrosión, estanqueidad de estos óxidos, aumento del volumen de la pieza, propiedades mecánicas, cinética de la corrosión. Para el estudio de estos factores se usa la metalografía óptica empleando luz polarizada y luz de contraste diferencial; la microscopía electrónica de barrido; micro sonda electrónica y la difracción de Rayos X.

d) Estudio del entorno que ha rodeado a la pieza: se determinarán los factores que intervienen en los medios metal-suelo, metal-aire y metal-agua marina.

La denominación de **análisis metalográficos** hace referencia a aquellos procedimientos de estudio que,

realizados por medio de un microscopio, revelan las características estructurales y constitutivas de los metales. Se puede identificar las impurezas presentes, el tamaño de grano y determinar posibles procesos de fabricación. Otro aspecto interesante de analizar es la zona de contacto del metal con el medio, de manera que se pueda estudiar los efectos y la disposición de la corrosión.

El **microscopio electrónico de barrido** utiliza ondas electrónicas en lugar de ondas luminosas, por tanto, emplea una óptica electromagnética. En la práctica, se suele utilizar no más de 20.000x. Es capaz de suministrar imágenes de gran definición y tridimensional. Se utiliza para determinar la

microestructura del metal y la presencia de elementos químicos en pequeña proporción.

La **micro sonda electrónica** deriva directamente del microscopio electrónico de barrido. Combinando las posibilidades de éste con las propiedades de los Rayos X, es posible realizar también la caracterización de elementos químicos en pequeña proporción y conocer su localización.

La **difracción de Rayos X** sirve para identificar cuáles son las fases presentes y algunas de sus características físicas como su estructura, parámetros de red, tamaño de cristales y caracteriza los óxidos presentes, aunque no proporciona información sobre su ubicación.

ANÁLISIS NO DESTRUCTIVO	
APLICACIONES	TIPO DE ANÁLISIS
Análisis elemental cualitativo y cuantitativo de compuestos inorgánicos (metales, aleaciones y productos de corrosión)	Fluorescencia no dispersiva de rayos x
Se emplea en objetos metálicos para localizar el núcleo metálico en una pieza cubierta de corrosión o concreciones, las distintas piezas que lo componen, los puntos de soldadura, etc.	Técnicas radiográficas (Rayos X y Rayos γ)
Estudio acústico que permite la inspección interna de materiales o de objetos y la caracterización de los mismos en relación con el envejecimiento y su naturaleza.	Ultrasonidos

Las radiaciones electromagnéticas se usan con fines diagnósticos. Pueden utilizarse como fuentes las ondas X (radiografías), las γ (gammagrafías), neutrones, etc. Cualquier imperfección que presente el material se refleja en el documento gráfico. Por tanto,

en el caso de que el espesor total de la pieza esté disminuido en alguna zona debido a poros, grietas, diferentes espesores de la pieza, o que esté constituida por distintos materiales. Esto quedará reflejado gráficamente, más o menos contrastado según el material y/o el grosor.

De igual forma los **ultrasonidos** se utilizan de manera análoga a las ondas electromagnéticas. Cuando un haz de ondas colisiona con un objeto, aquél resulta modificado a causa de fenómenos de reflexión y refracción, de absorción u otros. El haz resultante, es decir, su eco, ofrece información del objeto material.

A continuación, se adjuntan distintas tablas donde se resume el repertorio de análisis disponibles para el estudio de los metales en particular:

Tabla

ANÁLISIS DESTRUCTIVO. REQUIERE MUESTRA DE PEQUEÑAS DIMENSIONES	
APLICACIONES	TIPO DE ANÁLISIS
Determinación de la microestructura del metal y la presencia de elementos químicos en pequeña proporción.	Microscopía electrónica de barrido (SEM)
Composición, desde los elementos mayoritarios hasta las trazas de bronce (y otros materiales)	Espectroscopía de emisión
Análisis elemental cuantitativo de compuestos inorgánicos en general.	Espectroscopía de absorción atómica
Análisis cualitativos y cuantitativos de metales y aleaciones. Datación, condicionada a un banco de referencias.	Espectrometría de masas

Tabla 3. Tipos de análisis científicos destructivos que requieren una muestra de dimensiones reducidas.

ANÁLISIS DESTRUCTIVO. REQUIERE MUESTRA REPRESENTATIVA	
APLICACIONES	TIPO DE ANÁLISIS
Análisis cualitativos y cuantitativos de iones inorgánicos.	Cromatografía en capa fina
Análisis cualitativos y cristalográficos de sólidos cristalinos. Análisis semicuantitativos de los mismos.	Difracción de rayos x
Análisis elementales cualitativos y cuantitativos. Empleados para la valoración de las impurezas y establecer datación y autenticidad.	Análisis por activación neutrónica
Estudio de la estructura cristalina, incluidas las posibles alteraciones de la superficie.	Análisis metalográfico

Tabla 4. Tipos de análisis científicos destructivos que requieren una muestra representativa

1.1 Reconocimiento de metales. Identificación del cobre

A continuación, se describe una técnica empleada en laboratorios de campaña para identificar la presencia de cobre en los restos encontrados.

Útiles

- Agua desionizada
- Tubos de ensayo
- Ácido nítrico
- Ferrocianuro potásico
- Hidróxido amónico

Metodología

Se disuelve una muestra en un tubo de ensayo con ácido nítrico. La disolución adquirirá una coloración

azul o verde. Seguidamente se divide la solución en dos tubos. Al primero, se le añade hidróxido amónico (amoníaco) hasta alcanzar reacción alcalina: si se colorea en azul intenso, es muy probable la presencia de cobre. Al segundo tubo se le añade un poco de disolución de ferrocianuro potásico (en agua). Si aparece un precipitado rojo pardo, revela la existencia de cobre.

Existen otros procedimientos comerciales para la identificación de metales como los microanálisis químicos cualitativos con varillas analíticas (Martínez Silva y Araya Monasterio, 2001: 138).

Este método utiliza para ello papeles preparados con reactivos específicos de reconocimiento de metales, fabricados por la empresa Merck, los cuales

simplemente se humedecen con agua destilada y se aplican sobre la superficie a analizar: un cambio de color en los papeles indica la presencia de un determinado metal y su concentración aproximada. La sensibilidad de detección llega a 0.5 mg de metal sobre superficies, según catálogo.

Se debe tener la precaución de minimizar el área de contacto de los papeles o varillas indicadoras con los objetos a analizar, puesto que contienen reactivos que pueden dañar la pátina o bien reaccionar inesperadamente con el metal o aleación produciendo manchas por reacción química, muy difíciles de remover. Para disminuir la zona de contacto se realiza el análisis bajo lupa binocular. El proceso es muy

rápido y los resultados son evidentes por el cambio de color de los papeles, incluso a simple vista.

