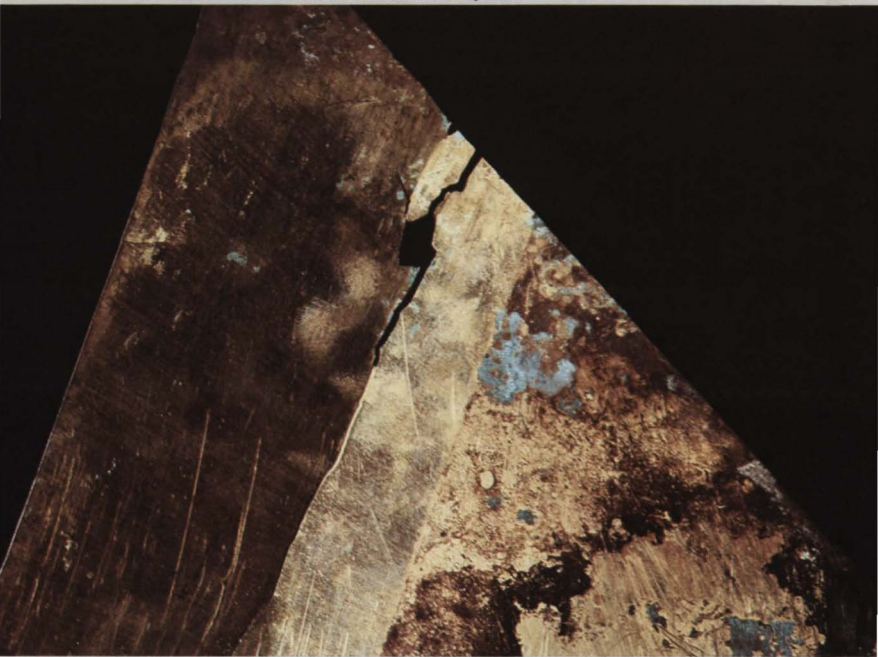


Foto 1: Fragmento de diadema procedente de Nariño, elaborada por fundición a la cera perdida en tumbaga y posteriormente dorada y pulida. Se ven manchas de óxidos de cobre sobre su superficie.



NOTAS SOBRE LA RESTAURACION Y CONSERVACION DE LOS METALES PRECOLOMBINOS

JUANITA SÁENZ OBREGÓN

Introducción

La metalurgia floreció en vastas regiones de América que incluyen a Colombia, Ecuador, Perú, Panamá, Costa Rica y México. Las tradiciones metalúrgicas se desarrollaron a lo largo de 13 siglos, desde 1.500 años antes de Cristo, en el Perú, hasta la conquista española. Se trabajaron el oro, el cobre, la plata y el platino, así como aleaciones de oro y cobre (tumbaga) utilizadas básicamente en Colombia, Panamá y Costa Rica. Cada zona orfebre desarrolló su propio estilo así como sus propias técnicas de manufactura; el martillado y repujado predominaron en Perú, Ecuador y el sur de Colombia y la fundición a la cera perdida en tumbaga se desarrolló principalmente en el centro y norte de Colombia, Panamá y Costa Rica. La orfebrería en Colombia es muy variada tanto estilística como tecnológicamente (Plazas y Falchetti, 1978, 1985).

En este artículo nos interesa básicamente exponer los distintos problemas que se presentan en la conservación de objetos metálicos precolombinos, ya sean elaborados en tumbaga, cuyo contenido de cobre puede llegar a ser hasta de un 80%, o en oro de buena ley, puesto que en estos últimos el oro nativo trae impurezas naturales como plata (entre el 5% y el 15%) y cobre (del 0.1-5%), además de trazas de otros metales, como níquel, hierro, zinc, cadmio, paladio y estaño, que imparten características específicas a cada aleación.

Se hará énfasis en los patrones de deterioro del cobre y también en la manera cómo las técnicas de manufactura y acabado particulares –que varían según las distintas piezas en las sociedades que las produjeron (Plazas y Falchetti, 1985)– le dan características específicas al comportamiento y deterioro posterior de cada objeto.

Estructura y propiedades de los metales y sus aleaciones

Los metales están constituidos por cristales conocidos como granos; sus propiedades físicas están en parte afectadas por el tamaño y forma de dichos granos. Por ejemplo, al martillar el bronce, los granos se alargan dando así un material más fuerte, pero a su vez más quebradizo; así

mismo, si este metal se recuece, puede producir granos más pequeños que confieren un grado mayor de dureza y menos fragilidad.

Aparte de la forma de los granos, las propiedades físicas de los metales son afectadas por los otros metales que forman la aleación (mezcla de metales y otros elementos). En las aleaciones, cada grano individual puede estar compuesto por un metal puro, por una mezcla química de los elementos metálicos que componen la aleación o por una combinación de varias mezclas; cada composición que ocurre dentro de una aleación se conoce como una fase. Cada fase tiene distintas propiedades físicas y cada una de ellas influirá en las características físicas del metal resultante; así, la presencia de una fase quebradiza le impondrá esta característica al metal. Las fases presentes en una aleación dependerán de la concentración de los metales que la conformen, de la temperatura a que hayan sido sometidos y de la rapidez en su enfriamiento. Estos factores son determinantes no sólo en las características físicas de cada metal, sino en su deterioro posterior (Cronyn, 1990).

Las aleaciones del cobre: deterioro y conservación

Sin duda, el deterioro de los metales es más un fenómeno químico que físico. Sustancias químicas producidas tanto por fuentes inorgánicas como por la actividad biológica de organismos, siempre están presentes en el medio ambiente y producen un cambio químico en los metales, llamado corrosión. Con excepción del oro y del platino, los metales utilizados en la antigüedad en Europa, Asia y América no son estables y en un ambiente natural tienden a reaccionar o combinarse con otros componentes no metálicos para así formar compuestos más estables. Esto no es sorprendente, ya que en su estado natural la mayoría de los metales son minerales (menas), los cuales químicamente son compuestos estables. Los metales sólo se pueden obtener a través de un proceso de fusión en un ambiente reductor (sin oxígeno), que libera el enlace entre el componente no metálico y el metálico. La corrosión es por tanto una reacción contraria a la anterior y ocurre entre el metal y el medio ambiente para tratar de formar de nuevo los componentes originales de los minerales (Cronyn, 1990).

Entender los procesos de deterioro de los materiales es esencial para la conservación. En los objetos metálicos se pueden considerar básicamente dos tipos de deterioro: el mecánico (impacto, abrasión, etc.) y el químico (corrosión). Existen dos formas de deterioro químico: la corrosión acuosa y la oxidación. Esta última se da cuando, incluso en condiciones ambientales secas, el metal se combina con el oxígeno u otros gases para así producir compuestos en su superficie (pátina). La superficie es en sí muy reactiva y forma dichos compuestos rápidamente. Las reacciones ocurren, más fácilmente si hay humedad en el medio; sin embargo, esta capa de óxido puede así mismo formar una barrera protectora (pasivación) que, a baja temperatura, previene reacciones posteriores entre el metal y los gases en la atmósfera.

La corrosión acuosa es más común que la anterior y consiste en el deterioro de los metales y en especial de las aleaciones, cuando un electrólito (agua impura) está presente. A temperatura normal la corrosión acuosa es mayor que la oxidación. Cada metal tiene una tendencia o potencial para ionizarse o corroerse en un medio acuoso. Los iones que forma tienden a salir a la solución y depositarse sobre su superficie formando manchas (Foto 1). Cuando un metal está en contacto o mezclado con otro, el que tiene una mayor tendencia a ionizarse es el primero en comenzar el proceso de deterioro; así, el metal más noble será protegido de la corrosión por el menos noble (Cronyn, 1990).

El proceso de corrosión tiene lugar en varias etapas: un objeto terminado comienza inmediatamente a deteriorarse, aún en una atmósfera corriente; en la etapa inicial de la corrosión atmosférica los depósitos son leves; cuando la corrosión progresa, se desplaza por los límites de los granos del metal y convierte los cristales metálicos en minerales. En la medida que continúa el deterioro, mayores cantidades de metal son convertidas a mineral, y esto causa un crecimiento en el volumen, dejando así la capa original cubierta por corrosión. Esta puede progresar hasta hacer desaparecer todo el metal, pero dentro de ella se conserva la capa que representa la superficie original del objeto, la cual puede retener evidencias de manufactura y ser recuperada y preservada con una conservación adecuada (Figura 1).

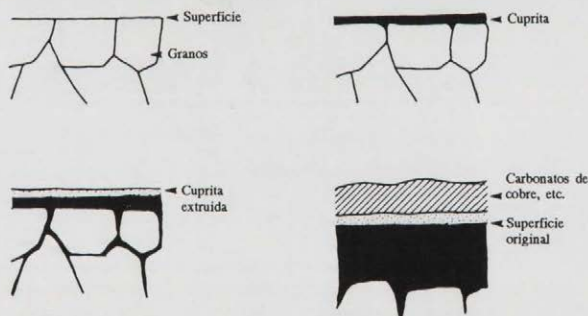


Figura 1

Secciones que muestran la corrosión de cobre y sus aleaciones. Tomado de Cronyn, 1990.

En aleaciones con contenido de cobre, como la tumbaga o el bronce (aleación de cobre y estaño), pueden aparecer con posterioridad a su excavación brotes de corrosión activa muy destructivos. Este tipo de corrosión, conocido como "cáncer del bronce", es frecuente en piezas arqueológicas, ya que iones de cloruro se encuentran presentes en la mayoría de los suelos. Estos cloruros quedan atrapados dentro de la corrosión o en las concreciones de las piezas y se reactivan al tener contacto con el agua u oxígeno, dando inicio a una corrosión activa que



Foto 2: Nariguera Tairona elaborada por fundición a la cera perdida en tumbada dorada y pulida. Presenta brotes de "cáncer del bronce".

se manifiesta en puntos pequeños de cristales sueltos de color verde claro (Foto 2). Para estabilizar estas piezas es posible realizar un tratamiento preventivo, manteniendo los objetos en una atmósfera muy seca y constante. Sin embargo, es aconsejable someter los objetos recién excavados a un proceso de estabilización química, ya que aunque estén cubiertos por una capa protectora de óxidos de cobre (I) o cuprita (Cu_2O), la presencia de iones de cloruro puede desencadenar el proceso de corrosión al más mínimo cambio en la humedad del medio ambiente. Hoy día, el más efectivo y mejor de los inhibidores utilizados para el cobre es el benzotriazol (BTA). Su uso en piezas arqueológicas fue

propuesto por Madsen en 1967 y desde entonces ha sido utilizado con excelentes resultados en la Gran Bretaña. Las piezas se sumergen en una solución de BTA al 5-10% peso/volumen, esta sustancia se combina con las sales cúpricas y cruposas formando así un complejo estable.

Cuando se va a conservar un objeto, hay que tener en cuenta las condiciones en que se encuentra (si la corrosión es estable o activa) y el uso que se le dará (exhibición, análisis, investigación, etc.). Si las piezas van a ser utilizadas para investigación, es recomendable no someterlas a ningún tipo de limpieza ni tratamiento directo, ya que esto puede interferir con los análisis que se requieran posteriormente, eliminando evidencias importantes sobre las técnicas de manufactura del objeto u otros vestigios como, por ejemplo, impresiones de textil. Sin embargo, se deben mantener en un ambiente apropiado para que el deterioro no continúe. Si por el contrario la pieza va a ser utilizada para exposición se requiere mejorar su apariencia, sometiéndola al proceso de restauración requerido. Sin embargo, es importante discutir siempre con los curadores y arqueólogos del museo los niveles de conservación, para así poder dar soluciones adecuadas, protegiendo al máximo la información tecnológica y arqueológica.

Las aleaciones de oro: deterioro y conservación

Con frecuencia se asume que el oro no sufre cambios estando enterrado; sin embargo, sí puede disolverse en presencia de ciertas sustancias químicas, como aminoácidos que se encuentran en ciertas plantas. En las aleaciones de oro se pueden considerar cuatro tipos de deterioro, los cuales han sido identificados y descritos por David Scott (1983) y que serán analizados a continuación con ejemplos relevantes de piezas de orfebrería del Museo del Oro de Bogotá.

1. Las aleaciones de oro con cobre y/o plata, o los dos simultáneamente, tienden a producir capas delgadas de corrosión que pueden provenir de la deposición de iones metálicos disueltos (como iones de hierro), los cuales se depositan sobre el metal produciendo manchas. El metal se puede manchar también al reaccionar con sustancias contaminantes que contienen sulfuros (en especial el H_2S). Este fenómeno puede ocurrir en aleaciones hasta de un 90% de oro.

2. Las aleaciones de oro-cobre, oro-plata y oro-cobre-plata son vulnerables a la corrosión estando enterradas, porque hay una diferencia entre el potencial electroquímico¹ de los tres metales. Si la superficie está dorada por oxidación -proceso en el cual el orfebre oxidó la pieza y retiró el cobre de la superficie con un ácido, dejando una capa de oro de buena ley-, hay además un desequilibrio desfavorable de un área catódica muy grande y una anódica muy pequeña. Exámenes de la microestructura de algunas muestras de piezas procedentes de las áreas arqueológicas Nariño en el sur del país y tairona en la Sierra Nevada de Santa Marta

1. Potencial electroquímico: el desbalance entre el potencial de un elemento químico con otro establece una pérdida de electrones del metal menos fino al otro produciéndose así la oxidación.

efectuadas por David Scott (1983), muestran claramente el problema: la corrosión ha penetrado en todo el metal y no sólo se ha producido una conversión del cobre a óxido cuproso (cuprita), sino que se ven rajaduras y cavidades donde ha habido pérdidas grandes de metal. La presencia de oro y cobre simultáneamente en toda la aleación puede producir áreas anódicas y catódicas locales, no solamente en los límites entre los granos, sino también dentro del grano mismo.

La corrosión que ocurre en este tipo de aleaciones es considerablemente más severa que la observada en el cobre puro en las mismas condiciones. Debajo de la superficie dorada se encuentra con frecuencia un polvo de color negruzco que es todo lo que queda de la aleación (Foto 3) y que consiste esencialmente en partículas de oro finamente divididas mezcladas con óxido de cobre. Este tipo de corrosión se conoce como *disolución de constituyentes anódicos*.



Foto 3: Fragmentos pertenecientes a un objeto desconocido, típicos de la orfebrería Nariño, dorados por oxidación. Se observa la capa de dorado levantada a causa de los óxidos de cobre que se han producido entre el metal base y el dorado.

3. Dependiendo de las condiciones del entierro, uso y hasta de los tratamientos de restauración, una gran variedad de aleaciones usadas en la América precolombina son susceptibles de formar una *corrosión por fatiga, resquebrajamiento y fragilización* (stress corrosion cracking). Este es el caso particular de aleaciones de oro con cobre y/o plata. Piezas fabricadas en tumbaga y aparentemente en muy buen estado, ya sean martilladas o fundidas, pueden ser extremadamente frágiles y rajarse o romperse cuando se manipulan en forma inadecuada o con cualquier golpe o presión ejercido sobre ellas. Wise (Scott, 1983) dice que incluso la operación de pulir posteriormente un objeto puede inducir el proceso de corrosión por fatiga. Este tipo de corrosión intergranular en dichos

objetos puede estar presente sin que sean evidentes o visibles los productos de corrosión sobre la superficie o el cuerpo mismo del objeto.

Nuestra experiencia en el Museo del Oro de Bogotá, muestra que estos dos últimos tipos de corrosión son típicos de las piezas taironas y de Nariño. En general, son objetos fabricados en aleaciones de oro con alto contenido de cobre que posteriormente a su manufactura fueron dorados por oxidación o por fusión y luego pulidos.

4. Los cambios de estructura que pueden ocurrir en aleaciones tales como oro-cobre-plata, consisten en un ordenamiento y un endurecimiento, debidos al ordenamiento de sus fases durante el enfriamiento o, posteriormente, con el paso del tiempo. Algunas de estas fases dificultan el trabajo del metal y en ocasiones el orfebre debió tomar medidas especiales, como el recocido, consistente en calentar el objeto al rojo naciente y enfriarlo luego en agua. Este procedimiento detiene el proceso de ordenamiento, dejando la aleación más maleable. Si por el contrario, aparecen fases ordenadas o éstas se forman durante largos períodos de tiempo, entonces la estructura de la aleación será menos dúctil.

Estas fases de ordenamiento se forman también cuando hay difusión, fenómeno muy frecuente en piezas de tumbaga dorada ya que el mismo proceso del dorado requiere un calentamiento del objeto, provocando la difusión y dando como resultado piezas muy quebradizas.

Teniendo en cuenta lo anterior, no se pueden hacer generalizaciones respecto a la conservación de piezas de orfebrería precolombinas. Cada objeto presenta sus propios problemas, ligados a la manufactura (fundición, martillado, dorados, etc.) como a las distintas aleaciones utilizadas para su elaboración. Es interesante, por ejemplo, el contraste de las piezas muiscas del altiplano cundiboyacense con las taironas y de Nariño. Las piezas muiscas fueron hechas por fundición a la cera perdida en tumbaga o cobre puro y en general no fueron pulidas ni doradas, puesto que su función primordial como ofrenda religiosa era transitoria y no requería de un acabado perfecto (Plazas y Falchetti, 1985). Estas piezas no han sufrido en su estructura los tipos de corrosión 2, 3 y 4 anteriormente mencionados, siendo más sólidas y resistentes a la corrosión. Las piezas taironas, en cambio, una vez fundidas en tumbaga, fueron cuidadosamente doradas y pulidas posteriormente dada su función de adorno vistoso y emblemático (Plazas y Falchetti, 1985). También lo fueron las piezas de Nariño, notables por las variadas técnicas de acabado. Tanto las piezas de Nariño como las de la Sierra Nevada son entonces muy frágiles y quebradizas y presentan problemas de conservación tanto en su limpieza como en la unión de fragmentos.

En el caso de objetos en oro de buena calidad y de piezas doradas por oxidación, se debe evitar la limpieza mecánica pues se corre el riesgo de abrasionarlos o rayarlos; la limpieza química se puede llevar a cabo cuando la aleación es de alta ley. El problema surge con el dorado, debido a que la tumbaga por su alto contenido de cobre puede estar mineralizada, siendo más susceptible al ataque químico provocando la disolución de los productos de corrosión de la aleación.

La unión de fragmentos de piezas de tumbaga dorada o muy mineralizadas presenta problemas, porque, aún utilizando adhesivos muy poco fuertes como los basados en nitrato de celulosa (Scott, 1983) la unión puede resultar más resistente que la aleación en sí misma y las piezas corren el riesgo de quebrarse por otro lugar, deteriorándose aun



Foto 4a: Pectoral roto con soporte elaborado en lámina de cobre amarillo y uñas recubiertas en oro de 24 kilates.



Foto 4b: Pectoral restaurado.

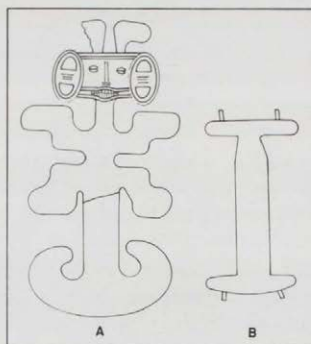


Figura 2

a) Pectoral antropomorfo Tolima (MO No. 6.234; ancho: 8.0 cm; alto: 15,5 cm).

b) Soporte elaborado en lámina de cobre para ser pegado por el reverso del pectoral, ajustándose a su vez por delante con cuatro "uñas" metálicas que fueron recubiertas con lámina de oro fino para igualarlas a la tonalidad de la pieza.

más. Piezas elaboradas en oro de buena calidad también presentan problemas, como por ejemplo, los objetos laminares de tamaño considerable, donde el punto de unión es muy delgado con relación a sus dos partes rotas, las cuales ejercen fuerzas contrarias que hacen muy difícil la unión aún cuando se utilice un pegante muy fuerte como los epóxicos. Piezas de este tipo requieren soluciones más complejas, como estructuras elaboradas en láminas acrílicas, metálicas o en resinas que sostengan las partes en posición (Fotos 4 a y b; Figura 2). Aunque existen características tecnológicas comunes a determinados tipos de piezas que pueden guiar los procedimientos de conservación y restauración, no debe olvidarse que cada pieza presenta también problemas específicos que deben ser analizados minuciosamente antes de iniciar el trabajo.

A continuación se expone el caso de la restauración de una orejera circular hueca del área Tairona rota e incompleta². Por su mismo estado y fragilidad, se plantearon varias alternativas de restauración (madera, arcilla, acrílico, etc.) optando por la utilización de resina poliéster y fibra de vidrio pues se consideró que daban a la pieza la solidez necesaria para su manipulación, como también la ligereza característica de este tipo de objetos. La resina utilizada fue probada en el laboratorio de materiales del Museo Británico, asegurando su estabilidad en cuanto a encogimiento, cambio de color, dureza, etc.

Foto 5: Restauración de una orejera tairona.



a) Estado inicial de la pieza.



b) La pieza de arcilla se pega con nitrato de celulosa reversible. En espuma (plastazode polyethylene) se talla la forma de la pieza.



c) Se inserta la talla en espuma dentro de la nariguera, resanando con una mezcla de adhesivo y esferitas de vidrio huecas (microballoons) hasta obtener una superficie pulida y nivelada con la superficie de oro.

2. La restauración de esta pieza se hizo en el laboratorio de restauración de metales del British Museum en Londres con la asesoría de la doctora Marilyn Hockey en junio de 1990.



d) La pieza invertida se fija sobre plastilina para aplicar con pincel el molde flexible de látex o caucho y un segundo molde de poliester y fibra de vidrio que le dará rigidez.



e) Una vez terminados los moldes, se remueve el modelo en espuma y los fragmentos de oro se colocan dentro del molde de látex en su posición correcta. Se aplica a pincel sobre el molde de látex y al reverso de estos fragmentos la resina de poliester con la fibra de vidrio. Al retirar los moldes queda la pieza terminada y completa.



f) Con el tiempo la resina se va curando, haciendo más difícil revertir el proceso.

BIBLIOGRAFIA

CRONYN, J. M. 1990. *The Elements of Archaeological Conservation*. Routledge, New York.

PLAZAS, Clemencia y FALCHETTI, Ana María. 1978. *El Dorado Colombian Gold*. Australian Apl Corporation Limited.

PLAZAS, Clemencia y FALCHETTI, Ana María. 1985. *Patrones culturales en la orfebrería prehispánica de Colombia*. En: Metalurgia de América Precolombina. 45 Congreso Internacional de Americanistas (Universidad de los Andes, Bogotá). Banco de la República, Bogotá.

SCOTT, David. 1983. *The Deterioration of Gold Alloys and Some Aspects of their Conservation*. Studies in Conservation, 28: 194-203.

SEASE, Catherine. 1978. *Benzotriazole: A Review for Conservators*. Studies in Conservation, 23: 76-85.

MADSEN, H. Brinch. 1967. *A Preliminary Note on the Use of Benzotriazole for Stabilizing Bronze Objects*. Studies in Conservation, 12 (4).