

Las dos piezas La Tolita analizadas en este artículo son aplicaciones para la piel como las que lleva el personaje representado en esta cerámica Tumaco. El cronista Francisco López de Gómara escribió en 1552 que estas gentes usaban adornos de oro en sus caras.



# LA SOLDADURA CON ALEACIONES DE ORO EN LA AMERICA ANTIGUA:

## UN ANALISIS DE DOS PEQUEÑOS ADORNOS PROVENIENTES DEL ECUADOR

DAVID A. SCOTT Y E. DOEHNE

Traducción:  
CLARA ISABEL BOTERO

La isla de La Tolita, localizada frente a la costa entre Colombia y Ecuador, es un sitio en el que se han realizado durante los últimos cien años espectaculares hallazgos de piezas de orfebrería muy delicadas. La mayor parte de este material proviene de gualaquiza y no tiene ningún contexto arqueológico; sin embargo, trabajos recientes sugieren que el inicio de la metalurgia en esta región data de antes de la era cristiana (Bray, 1988; Bouchard, 1979; Bergsøe, 1937). Además de indicar el uso de aleaciones con platino y otros desarrollos interesantes, el sitio ha producido un conjunto considerablemente rico de adornos pequeños como los descritos en este artículo. Aunque la evidencia arqueológica sugiere que la principal ocupación del sitio de La Tolita terminó alrededor del año 800 d.C., la utilización de diminutos ornamentos cuidadosamente elaborados continuó hasta la época de la conquista española en el siglo XV.

En este artículo se examinan, gracias al permiso otorgado por el Museum of the American Indian, Heye Foundation Nueva York, dos pequeños apliques utilizados como adornos faciales (aplicaciones para la piel). En ambos casos las piezas se componen de dos partes soldadas, por lo que se analizará así mismo la utilización y composición de las soldaduras de oro.

### Análisis del aplique No. 1

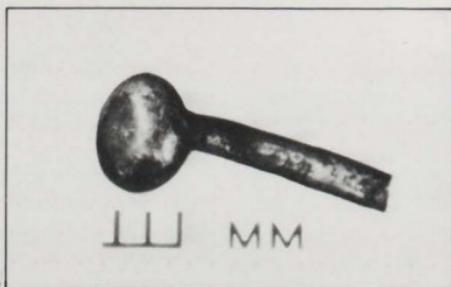
Los pequeños apliques faciales están formados con frecuencia por dos partes: una varita o prolongación de sección circular (con una longitud de 7 a 10 mm y un diámetro de 1 a 2 mm) unida a una pequeña esfera ocasionalmente achatada en la cúspide (con un diámetro de 3 a 6 mm). La mayoría son simples, aunque algunos tienen una decoración más elaborada. Generalmente fueron fabricados con oro nativo. Sin embargo, el primer aplique analizado en este artículo fue fabricado con una aleación intencional de oro y cobre denominada "tumbaga" en la metalurgia suramericana (Figura 1a). A pesar de que su superficie presenta pátina como resultado de la corrosión del cobre de la aleación, su apariencia

general es dorada. El número del catálogo de este objeto en el Museo (1/74/79) indica que la pieza formaba parte de la primera colección de material procedente de La Tolita reunida por Marshall H. Saville durante las dos primeras décadas de este siglo.

El aplique fue montado para su estudio metalográfico. La sección pulida (Figura 1b) revela su factura en dos partes, una esfera fundida y muy porosa unida por soldadura a una prolongación. El reducido tamaño de esta pieza y la unión nítidamente soldada dan testimonio de las habilidades orfebres de los indígenas de La Tolita. La unión entre las dos

Figura 1

a) Aplicación dorada para la piel procedente de La Tolita (aplique 1). b) Montaje de fotomicrografías del aplique 1 (mostrado después de pulimento y ampliado x 40).



a

b



partes se aprecia con mayor contraste al ser atacada con cianuro de potasio y persulfato de amonio (Figuras 2a y 2b). La estructura más fina de la soldadura puede entonces ser diferenciada visualmente de la esfera fundida debido a que este reactivo acentúa el contraste entre aleaciones con diferentes contenidos de oro.

La sección atacada de la prolongación del aplico No. 1 revela que ésta fue trabajada por medio de ciclos de martillado y recocido (Figuras 3a, 3b, 3c). Las regiones alargadas más oscuras que se aprecian en esta sección son residuos de la segregación dentrítica que ocurre al enfriarse

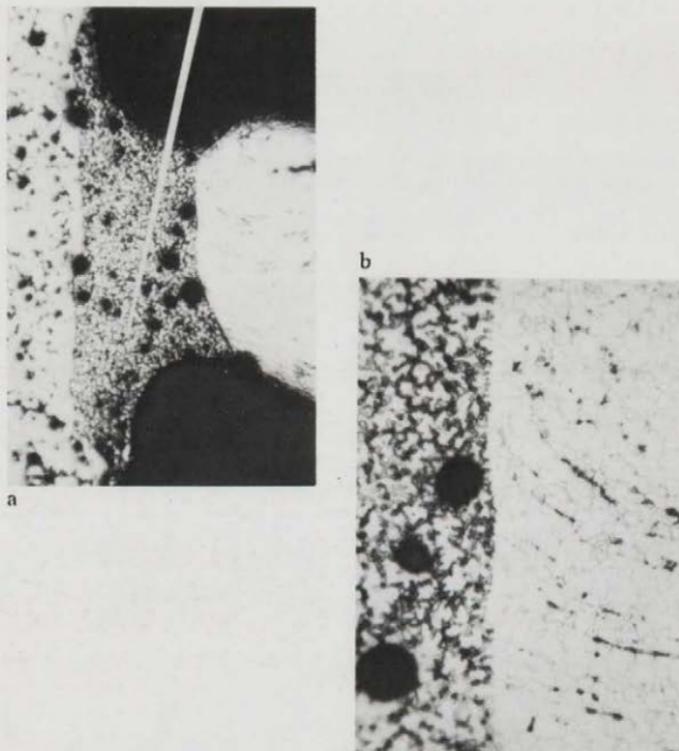


Figura 2

a) Fotomicrografía de baja ampliación, donde puede distinguirse la estructura de la soldadura usada para la unión del aplico 1 (atacado con cianuro/persulfato, ampliado x 83). b) Detalle de la soldadura del aplico 1 en el límite de su unión con la prolongación (ampliada x 330).

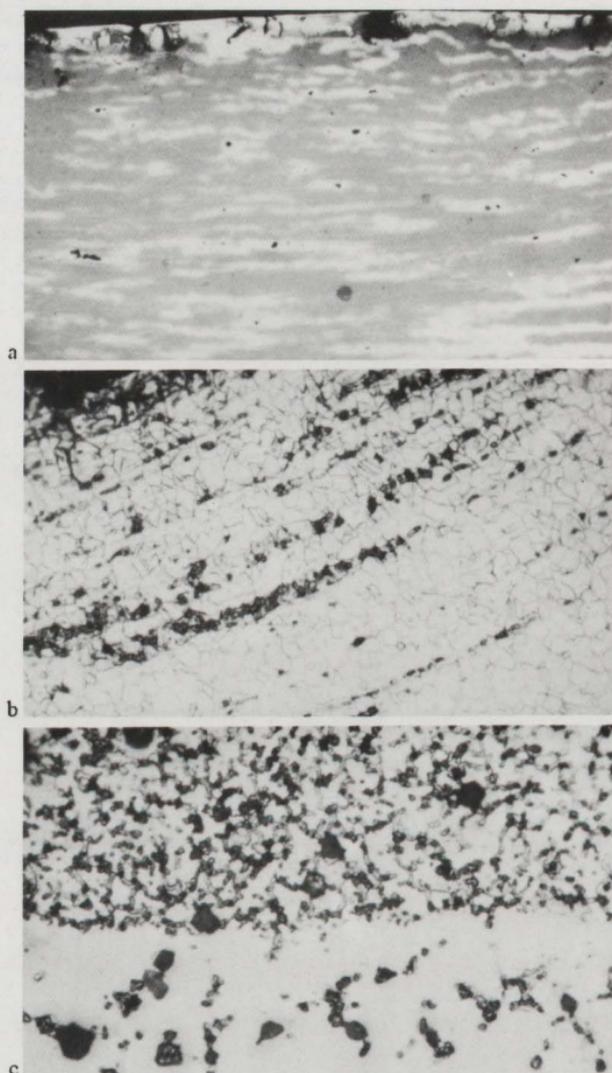


Figura 3

a) Fotomicrografía de la prolongación del aplique 1 resaltada con cloruro férrico alcohólico para revelar la superficie dorada por oxidación. Nótese que los principales detalles de la estructura no son revelados por este atacante; la nucleación y la segregación son más evidentes. Las zonas más brillantes corresponden a áreas de mayor concentración de oro (ampliado x 165). b) Otra fotomicrografía (x 330) de la misma zona detallada en a), revela detalles de la estructura de los granos después de ser martillados y recocidos. c) Vista de la unión entre la soldadura y la cabeza (atacada con cianuro/persulfato).

estas aleaciones de oro y cobre (más estrictamente aleaciones de oro, cobre y plata, ya que la plata está siempre presente en porcentajes variables en el oro nativo utilizado por los indígenas suramericanos).

Se obtiene una perspectiva muy diferente de la prolongación si ésta es nuevamente pulida y atacada con cloruro férrico alcohólico (Figura 3a): en este caso, la segregación de la aleación se revela claramente así como el hecho de que la superficie de la prolongación fue dorada por oxidación; las zonas más claras en la sección atacada corresponden a áreas doradas. El proceso de dorado por oxidación utilizado en el Perú y Colombia ha sido descrito por Lechtman (1972) y Scott (1983) respectivamente.

Se utilizaron análisis con microsonda de electrones para determinar la composición de la pieza. Tanto la prolongación martillada como la gota de la cúspide fueron elaboradas con una aleación que consiste en 20% de oro, 2% de plata y 78% de cobre. El análisis del diagrama de equilibrio de fase de la aleación ternaria de oro, cobre y plata indica que esta aleación llega a un estado de licuefacción en la región de los 1.025° C. Por otra parte, los análisis por microsonda de electrones de la unión soldada señalaron que esta era una aleación de 42% de oro, 10% de plata y 48% de cobre.

No es tan obvio que esta soldadura tenga un punto de fundición menor que el de las dos partes de la pieza (prolongación y esfera); especialmente debido a que la soldadura contiene más oro que ellas; sin embargo, un examen del diagrama de equilibrio ternario señala que esta aleación se licúa aproximadamente a 950° C. La composición de la soldadura está señalada con un punto en el diagrama ternario del estado de licuefacción. Solamente hay 75° C de diferencia en las temperaturas de fusión, por lo que la operación de soldadura tiene que ser cuidadosamente controlada con el objeto de no fundir la prolongación y la esfera.

Más llamativo es que las aleaciones pudieron ser trabajadas y seleccionadas específicamente para ciertos procesos de fabricación. Mientras que el mismo tipo de aleación de oro ha sido utilizado tanto para la prolongación como para la esfera, para la soldadura se usó una aleación completamente diferente, con oro muy rico en plata. La aleación de la soldadura no pudo ser simplemente mezclada con cobre para obtener la tumbaga del aplique, ya que la razón plata a oro de los dos materiales es completamente diferente: tanto la prolongación como la esfera tienen una razón de 0.1, en tanto que la proporción en la soldadura es de 0.24. Uno esperaría que la preparación de una aleación apropiada para soldadura partiera de la disolución de la aleación utilizada en la elaboración del objeto. Este no es el caso, sin embargo, puesto que la soldadura contiene más oro y plata que los compuestos que van a ser unidos. Ya que el sistema de las aleaciones binarias plata-cobre contienen un punto eutéctico, no es posible por observación visual apreciar la manera en que estas aleaciones debían diluirse.

McDonald y Sistare (1978) definen un factor  $f'$  de la siguiente manera (los valores para plata y cobre se dan en porcentaje del peso):

$$f' = \frac{Ag \times 100}{Ag + Cu}$$

Por el uso de esta ecuación y teniendo en cuenta la cantidad de oro presente en una aleación, se puede predecir el número de fases en equilibrio que se espera encontrar de acuerdo con lo observado en el diagrama ternario. Para la soldadura de oro de este aplique el valor del factor  $f'$  es de 17.24, el cual coloca la composición de esta soldadura en la categoría II. La microestructura general de la mayoría de las aleaciones de oro utilizadas en la antigüedad es una solución sólida homogénea de los tres componentes, oro, plata y cobre (Au Ag Cu). Sin embargo, si las aleaciones de tipo II son lentamente enfriadas hasta la temperatura ambiente pueden precipitar, o bien una fase  $\alpha'$  (Ag Au) que consiste en una solución sólida de plata y oro (en aleaciones ricas en cobre), o bien una fase análoga de cobre y oro (Cu Au) en aleaciones ricas en plata. La aleación de esta soldadura es rica en cobre, aproximadamente de una ley de 10 quilates, indicando que su precipitado es la fase  $\alpha'$  (Ag Au). Esta fase es atacada fuertemente por los cianuros y persulfatos, lo cual resulta en una microestructura en la que los límites de los granos de la solución sólida  $\alpha$  (Au Ag Cu) son acentuados por la disolución de la fase  $\alpha'$ , como puede apreciarse en la Figura 2.

Secciones de equilibrio pseudobinario del sistema de tres compuestos indican que la temperatura esperada del punto de licuefacción de la soldadura es de aproximadamente 920° C, con una temperatura de solidificación de aproximadamente 850° C. Estas cifras coinciden bastante bien con la temperatura del punto de licuefacción obtenido del diagrama ternario mencionado anteriormente, de 950° C. El diagrama pseudobinario de licuefacción y solidificación muestra que la soldadura puede empezar a ablandarse a una temperatura de 850° C. De nuevo esto indica que era necesario tener un control muy efectivo sobre las temperaturas de trabajo, ya que la soldadura puede fluir libremente a temperaturas de 80 a 100°C sobre los valores de solidificación.

Una vez unidas las partes el aplique fue dorado por oxidación para crear una superficie enriquecida en oro. Un 20% de oro en la aleación es suficiente para asegurar que se logre un buen dorado por oxidación; sin embargo, las aleaciones de tumbaga pueden ser doradas de esta forma aún con contenidos de oro de apenas el 5%.

## Análisis del aplique No. 2

El segundo aplique (Museum of the American Indian, Heye Foundation, número I/7299) es un fragmento quebrado de tipo muy común en el conjunto de La Tolita. Su forma es la de un pequeño cilindro aplanado de oro unido a una prolongación cilíndrica del mismo metal. El fragmento quebrado permitió el estudio de la unión entre las dos partes; así se descubrió otra soldadura cuidadosamente elaborada. En una sección de esta pieza se aprecian vestigios de la soldadura. La sección fue atacada

con cianuro de potasio y persulfato de amonio, lo cual permitió estudiar la estructura de los granos de la aleación de oro. Nótese la morfología de fundición de la soldadura de oro y la difusión de la soldadura en la cabeza del aplique. Los límites de los granos de la soldadura de oro revelan vestigios de un precipitado de una segunda fase, que aparecen como pequeñas islas oscuras en la micrografía óptica.

La composición de la aleación de oro utilizada para elaborar la cabeza de esta pieza, determinada mediante análisis con microsonda electrónica, fue de 4.08% de cobre, 80.45% de oro y 14.31% de plata. Esta composición se encuentra en el límite entre oro nativo y oro al que se le ha añadido cobre de manera deliberada o mediante el uso de un fragmento reutilizado: aunque podría decirse que el oro nativo contiene menores concentraciones de cobre, esta es una apreciación obtenida promediando el material en su totalidad y no a partir de granos o chicharrones individuales que pueden presentar un mayor nivel de variabilidad en el contenido de cobre que lo que indican las cifras globales para un depósito específico. La soldadura, analizada así mismo por sonda de electrones, reveló una composición de 25.9% de cobre, 65.1% de oro y 8.0% de plata. Las proporciones de oro-plata de estas dos aleaciones son de nuevo muy diferentes, la del aplique 0.178 y la de la soldadura 0.124, lo cual indica que los materiales inicialmente utilizados eran dos compuestos de oro nativo completamente diferentes. En un barrido con micrografía electrónica de la región limítrofe entre la soldadura y la cabeza del aplique, se aprecia una zona de interdifusión entre los dos componentes en que algunos de los granos de la soldadura parecen haber sido enriquecidos con oro como resultado de la difusión ocurrida en los límites de la unión.

La temperatura del punto de licuefacción de la aleación usada en la cabeza del aplique es de aproximadamente 990° C, mientras que el estado de licuefacción de la soldadura se obtiene a partir de 800° C, lo cual permite una diferencia mayor de temperatura entre las dos aleaciones que en el primer ejemplo estudiado aquí. La cabeza tiene un factor  $f'$  de 77.81, mientras que la soldadura tiene un factor  $f'$  de 23.74. El campo de dos fases se estrecha cuando se dan concentraciones mayores de oro y la estructura que se espera de la cabeza del aplique es la de una solución sólida de tipo I (Au Ag Cu), que es en efecto la que observamos en este caso. Por otro lado, la soldadura cae en la categoría II y se espera que tenga dos fases, tal como sucede en el ejemplo de la primera soldadura estudiada en este artículo. El precipitado de la segunda fase también debe ser  $\alpha'$  (Au Ag). Al ser atacado por cianuros y persulfatos, se revela una precipitación discontinua en los límites de los granos de acuerdo con la naturaleza de dos fases de la aleación, predecible a partir del punto de solidificación ternaria.

## Conclusiones

Los análisis realizados en este artículo han demostrado las habilidades prácticas de los orfebres de La Tolita en el uso de diferentes tipos de aleaciones de oro. La capacidad empírica para mezclar cantidades determinadas de oro y cobre en la elaboración de estas aleaciones sugiere que los procesos habían sufrido un desarrollo considerable hasta controlar la composición de los materiales utilizados. Es muy difícil reconstruir cómo se llegó a este control, pero el indígena debió hacer observaciones muy cuidadosas sobre los puntos de fundición de las diferentes aleaciones. No existe ninguna evidencia arqueológica que señale que los orfebres podían pesar sus materiales, pero de todas maneras tenían algún tipo de control sobre las mezclas de los metales con el objeto de lograr puntos de fundición practicables y útiles en el trabajo que estaban realizando.

Tabla I

### Resumen de la información analítica de los apliques

Obj.	Núm.	Au %	Cu %	Ag %	Ag/Au	Factor $\Gamma$	Fase	Liqu.	Soli.
Aplique 1	1/7479	20	78	2	0.10	2.5	$\alpha$ (AuAgCu)	1025	900
Soldadura 1	1/7479	42	48	10	0.24	17.2	$\alpha$ (AuAgCu)+ $\alpha$ (AgAu)	950	830
Aplique 2	1/7299	80.5	4	14.3	0.18	77.8	$\alpha$ (AuAgCu)	990	940
Soldadura 2	1/7299	65.1	26	8	0.12	23.7	$\alpha$ (AuAgCu)+ $\alpha$ (AgAu)	880	810

Se notara que en el curso del artículo los análisis se dan con diferente número de decimales, debido a que éstos se obtuvieron con parámetros instrumentales y máquinas diferentes. Aquellos con un decimal se realizaron en el Joel Superprobe usando estándares de elemento puro y análisis dispersivo de longitud de onda; los demás son menos precisos por haber sido obtenidos usando técnicas analíticas de energía dispersada en un microanalizador de rayos X Cambridge Instruments Mark 5.

## Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a Ana Roosevelt, curadora del Departamento de Prehistoria Americana del Museum of the American Indian, Heye Foundation, por permitir el acceso a las colecciones del Museo. También agradecemos el apoyo financiero para el viaje otorgado a uno de nosotros (Scott) por la Academia Británica durante el período de esta investigación.

BIBLIOGRAFIA

- BRAY, W. 1988. "Resolving the platinum paradox", *Americas*, 40 (6): 45-9.
- BERGSOE P. 1937. *The metallurgy and technology of gold and platinum among the pre-Columbian Indians* (transl. F.C. Reynolds), Ingeniørvidenskabelige Skrifter, A44, Naturvidenskabelige Samfund i Kommission hos G.E.C. Gad., Copenhagen.
- BOUCHARD, J.F. 1979. "Hilos de oro martillado hallados en la Costa Pacífica del Sur de Colombia". *Boletín Museo del Oro*, Banco de la República, año 2 (mayo-agosto): 20-4, Bogotá.
- CHANG, Y.A., NEUMANN, J.P., MIKULA, A. y GOLDBERG, D. 1979. *Phase diagrams and thermodynamic properties of ternary copper-metal systems*. Int. Copper Res. Ass., New York.
- LECHTMAN, H. 1973. "The gilding of metals in pre-Columbian Perú". *Applications of science in the examination of works of art* (ed. W.J. Young), 38-52, Museum of Fine Arts, Boston.
- CHANG, Y.A., NEUMANN, J.P., MIKULA, A. y GOLDBERG, D. 1979. *Phase diagrams and thermodynamic properties of ternary copper-metal systems*. Int. Copper Res. Ass., New York.
- LECHTMAN, H. 1973. "The gilding of metals in pre-Columbian Perú". *Applications of science in the examination of works of art* (ed. W.J. Young), 38-52, Museum of Fine Arts, Boston.
- MCDONALD, A. and SISTARE, G.H. 1978. "The Metallurgy of some carat gold jewellery alloys, part I: coloured gold alloys", *Gold Bull.* 11 (3): 66-73.
- SCOTT, D. 1983. "Depletion gilding and surface treatment of gold alloys from the Nariño area of ancient Colombia". *J. Hist. Metallurgy Soc.*, 17 (2): 99-115.