



Breve historia del proceso de fundición a la cera perdida

Por: Alejandro Echavarría
Profesor del Departamento de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales UdeA.

El objetivo del presente esbozo es hacer una síntesis histórica de la evolución del proceso de fundición a la cera perdida desde sus orígenes hasta la época actual. No se trata de hacer una descripción detallada de los descubrimientos, sino de permitir una comprensión general acerca de cómo el proceso ha permanecido constante, sin interrupción en el tiempo. Pero notemos que desaparece en algunos lugares y aparece en otros desde hace 60 siglos hasta ahora. Por ello se trata de una de las técnicas más antiguas de la humanidad.

EVOLUCIÓN DESDE LA ANTIGÜEDAD HASTA LA EDAD MEDIA

Los fósiles de animales y plantas prehistóricas constituyen un primer ejemplo en la naturaleza de la utilización de un “modelo perdido”. Encontrados generalmente en formaciones calizas, el cuerpo del animal prehistórico aprisionado en la roca fue disolviéndose y mediante un proceso de millones de años, fueron rellenados los espacios vacíos con austenitas minerales. Una muestra de ello se ilustra en la figura 1.

Es extremadamente difícil determinar cuándo el hombre primitivo interpretó el proceso natural y descubrió el procedimiento de moldeado a la cera perdida.

Durante miles de años, se utilizó la cera para modelos y efigies. Pero se trataba simplemente de modelado y no de fundido.

Es viable suponer que los orígenes de la fundición a la cera perdida se remontan a los principios de la Edad del



Figura 1. Pez fosilizado. Archivos del autor.

Bronce, ya que las piezas más antiguas fabricadas por este proceso datan aproximadamente del año 4000 a. de C., provenientes del Asia Menor.

Con auxilio de modelos de cera, fueron fundidos en bronce recipientes, útiles, piezas de adorno, estatuillas, entre otros, de gran riqueza ornamental.

El método de vaciado a la cera perdida –como metalurgia artística– ya era conocido por los sumerios que habitaban el valle del Indo, alrededor del año 2000 a. de C.

Se cree que este procedimiento se llevó a Egipto y a China, alrededor del 2500 a. de C. Los artesanos de la dinastía Shang (1766 a 1122 a. de C.) crearon cajas en bronce decoradas con una filigrana tan delicada que compete con cualquier fundición de precisión mo-

derna. La figura 2 muestra un recipiente votivo chino para vino, fundido en bronce hacia el 1100 a. de C. En este se observa un hombre que ha buscado su protección en las fauces de un jaguar.



Figura 2. Vaso ceremonial, bronce, 13 cm, dinastía Shang, China: 1700 a. de C. Archivos del autor.

La figura 3 muestra una estatua egipcia en bronce, aproximadamente del siglo VII a de C. La figura hace parte de las primeras manifestaciones del proceso utilizado para hacer series de la misma réplica.

Los modelos en cera de la cabeza y del cuerpo eran vaciados en matrices separadas de yeso; posteriormente, se soldaban entre sí mediante una espátula caliente. La utilización de matrices separadas daba la posibilidad a los artesanos egipcios de combinar cabezas y troncos diferentes para obtener variadas representaciones de hombres, dioses y animales.

En el mundo antiguo surgieron dos métodos básicos de vaciado en bronce, el método directo y el indirecto.

En el método directo la escultura tenía que ser modelada en cera en forma sólida y sobre ella se daba forma a



Figura 3. Seth con cabeza de chacal, bronce, caso de figuras en serie. Archivos del autor.

un material refractario. Posteriormente, la cera se fundía dejándola salir. Y el bronce fundido se colaba en el vacío lentamente para hacer un vaciado sólido. De un modo parecido, la cera se modelaba sobre una forma inicial “matacho”, la cual, en el proceso, quedaba como núcleo de la escultura. El núcleo se sujetaba luego con grandes alfileres metálicos de parte a parte de la cera y se le aplicaba un revestimiento exterior de material refractario.

Una vez que se había derretido la cera, se rellenaba el espacio resultante entre el núcleo y el molde con metal fundido, para producir un vaciado hueco. Este método produce la destrucción del modelo original durante el proceso.

El método indirecto, utilizado por los griegos y los egipcios, exigía la producción de un molde en piezas del modelo original para dar lugar al vaciado



en cera; si era necesario, podía estar provisto de un “matacho” sobre el cual se seguía el mismo proceso ya descrito. En este caso, el molde sí se necesitaba para repetir el proceso.

Más tarde, en Roma, el método de vaciado del bronce a la cera perdida tiene una antigua tradición y se mantiene viva hasta la primera parte de la Edad Media, cerca del 1200 d. de C.

A partir de ese momento, hasta el año 1329, fecha en la cual se le encarga a Andrea Pisano la primera puerta de bronce del Baptisterio de Florencia, esta tradición se pierde para el vaciado de piezas escultóricas y solo se conserva para el trabajo artesanal de fundiciones en bronce de campanas en la ciudad de Venecia.

En Suramérica, desde el siglo V a. de C. hasta la llegada de los españoles, se desarrolló una metalurgia alternante especializada en las técnicas de la fundición del oro, cobre y plata, así como de las técnicas de manufactura y fabricación de láminas por martillado, soldadura por fusión vaciado a la cera perdida y técnicas de acabado superficial.

Existen dos teorías que tratan de explicar el origen y desarrollo de la metalurgia suramericana. Se distinguen: la difusionista y la “paralelista”.

La teoría difusionista de Heine-Geldern establece que la metalurgia americana tiene un origen asiático, pues existen notables similitudes de forma y contexto entre muestras precolombinas y del Cáucaso: alfileres macizos hechos de bronce suramericanos de Atacama y Hallatatt; rompecabezas estrellados de bronce del Perú y otros de bronce de Transcaucasia; espejos de bronce del Cuzco y del sur de Siberia; dobles espirales en brazaletes y anillos del Perú y de la cultura Dongson Tonkín y del Cáucaso; ranas de bronce del sudeste de Asia y las de tumbaga de los muiscas.

Al comparar las figuras de Sumatra con las de los muiscas se evidencia la utilización de una misma técnica para la representación de los ojos y la boca, los cuales están formados por un hilo fundido a la cera perdida, así como la pieza completa.

Uno de los objetos que refuerzan la teoría anterior son los cascabeles, abundantes en Colombia y que aparecen en la cultura Dongson. Tienen el aspecto de estar formados por alambre soldado, pero en realidad han sido fundidos de una pieza con la misma técnica de la cera perdida. El autor opina que la idea de fundir una cápsula casi completamente cerrada con un grano dentro, que se puede mover libremente en su oquedad, representa un invento teórico bastante complicado, el cual es muy improbable que se haya realizado independiente dos veces. Además concluye que la fundición a la cera perdida en Sur y Centroamérica coincide en líneas generales con las del sudeste de Asia.

Según este autor, la metalurgia precolombina no sufrió un proceso de transformación técnica, pues no se han encontrado rastros en Colombia (ni en ninguna parte de Suramérica) de que se hayan copiado las técnicas de utilización de pepitas de oro naturales para collares, posteriormente martillado y por último calentadas y martilladas antes de conocer la fundición. Esto requiere de métodos especiales para conseguir la alta temperatura de fusión, que fue el largo proceso seguido por el hombre prehistórico europeo y el de las culturas arcaicas del Asia Interior.

Es curioso que los indios norteamericanos utilizaran el cobre nativo para hacer cuchillos y puntas de arpón martillados y recocidos, pero que no pasaran de la tercera etapa del desarrollo histórico, ya que ninguna de las piezas halladas hasta ahora ha sido fundida. Esta cultura conocida como la del “Cobre Antiguo” floreció entre el 4000 y 2000 a. de C.

Se cree que los Chinos, en la dinastía Chou, influyeron en la metalurgia americana debido a varias emigraciones hacia la costa del Perú, entre el periodo Chavín de Huantar hasta el siglo VIII a. de C. Aquí aparece por primera vez en América del Sur el oro trabajado con huellas clarísimas de influencias chinas en el arte. Las primeras manifestaciones de piezas fabricadas por el proceso de cera perdida se dan también en el Perú, en la época de Gallinazo (su comienzo se ubica hacia el siglo VI a. de C.), donde se encuentra el cascabel americano de mayor antigüedad, y hacia el siglo IV a. de C. en los inicios de la cultura Moche.

La hipótesis de Heine-Geldern sostiene que hubo migración masiva de artesanos y pobladores, portadores de la cultura Dongson, en Tonkín, con la caída del imperio Yueh como consecuencia de las guerras entre los estados chinos, del año 473 al 333 a. de C. La primera fecha coincide con la dada por el C-14 para la cultura Mochica inicial. Esta se extiende hasta el 700 d. de C., pero la metalurgia peruana precolombina posterior se centra en la técnica de martillado, recocido y soldadura, influyendo en una extensa región hacia el norte, llegando hasta Ecuador y el sur de Colombia, abarcando las culturas de Tumaco, Nariño, San Agustín y Tierradentro.

Asimismo, existen argumentos que contradicen la hipótesis anterior, entre los cuales se pueden citar el hecho de que si hubo realmente una influencia asiática en la América precolombina, aquellos inventos como la rueda, la pólvora, la escritura o el mismo fuelle, tan importante en la fundición, deben de haber aparecido en esta última. Sin embargo, tales vestigios no se han encontrado. A la vez, esta teoría puede chocar con serias dificultades cronológicas que atribuyen el nombre americano una antigüedad mayor que la admitida hasta ahora y la idea, muy en boga en la antropología moderna, de que los descubrimientos simultáneos no son solo probables, sino posibles.

Además, según Plazas y Falchetti: “Las piezas de oro más antiguas conocidas hasta el momento correspondientes al año 1600 a. de C. (700 años antes de encontrarse las piezas de Chavín de Huantar, hacia el siglo VIII a. de C.), fueron halladas en la región de Andahuaylas, en la zona sur de la sierra peruana. Se trata de pequeñas cuentas laminares de oro asociadas con herramientas que fueron empleadas, presumiblemente, en la manufactura del oro”.

La hipótesis “paralelista” del profesor Rivet asegura que la historia de la metalurgia americana, respecto del Antiguo Mundo, y el desarrollo de la orfebrería precolombina fueron netamente autóctono. Lo que refuerza esta hipótesis es que efectivamente los indios peruanos, bolivianos y mexicanos refinaban el cobre a partir de sus minerales. Existe evidencia de que el cobre era extraído de sus minerales en forma de óxidos y carbonatos. Los hornos en que se llevaba a cabo la refinación o “Huairas” eran recipientes cilíndricos de terracota de cerca de un metro de alto con una serie de aberturas en sus lados. Generalmente ubicados en lugares altos donde el viento sopla con más fuerza, eran hornos de tiro natural y se cargaban con mineral y carbón de leña. El mineral era reducido por el carbono y el oxígeno se eliminaba como dióxido de carbono. El metal era finalmente fundido y lingoteado. También se encuentran vestigios de sulfuros de cobre en piezas martilladas (chapas de cobre de Tiahuanaco), lo cual requiere de un proceso de tostación, previo a la fusión y fabricación intencional de bronce a partir de los minerales de cobre y estaño, malaquita y casiterita.

Sea como fuera, empieza a florecer en el centro y norte de Colombia una metalurgia altamente desarrollada en la técnica del proceso de la cera perdida y su manufactura posterior, entre ellas la técnica del dorado superficial por oxidación. Las culturas Calima, Tolima, Quimbaya, Muisca Sinú y Tairona emplearon ex-



tensamente el proceso, pero había notables diferencias entre ellas en cuanto a su actitud hacia el oro, su manera de trabajarlo y las formas de elaboración. A continuación, una breve descripción de cada una de esas culturas. Véase las zonas de orfebrería prehispánica de Colombia, mostradas en la figura 4.

La cultura Calima, caracterizada por una gran producción de oro de buena ley, está asociada al periodo Yotoco comprendido entre los siglos III a. de C. y X d. de C.



Figura 4. Zonas de orfebrería prehispánica de Colombia

Aunque utilizaron el martillado y el repujado, fabricaron piezas hechas magistralmente por la técnica de fundición a la cera perdida, como los colgantes u orejeras que representan hombres muy adornados con máscaras y alfileres que en sus remates exhiben aves, simios y personajes enmascarados. Una de estas se presenta en la figura 5.



Figura 5. Tapa de orejera de la cordillera entre los valles altos de Calima y Dagua. Archivos del autor.

La orfebrería de la cultura Tolima se destaca por colgantes de orejera en forma de murciélagos, pendientes fundidos que representan seres o insectos fantásticos y grandes pectorales fundidos y martillados que representan hombres alados de manera esquemática. Trabajaban también el oro de buena ley extraído de los ricos aluviones aeríferos del río Saldaña, cuyo pulimento varía del mediano al muy bueno. Como característica de este grupo, se tiene la esquematización plena y angular de la figura humana.

Los Quimbayas, por su parte, situados en el valle medio del río Cauca, desarrollaron con maestría inigualable las técnicas de fundición de las aleaciones, influyendo en la metalurgia de las zonas vecinas y difundiéndose también hacia el norte llegando hasta Centroamérica. Junto con los muisca, fueron los que alcanzaron indudablemente la mayor capacidad tecnológica de nuestra metalurgia precolombina. Empieza a utilizarse la “tumbaga”, aleación oro-cobre de 70 a 80% de oro. Los orfebres quimbayas descubrieron que esta aleación funde a menor temperatura que la del cobre y que la del oro de alta pureza. Hoy se sabe que es una aleación cuyo punto de fusión es 884 °C, cerca de 200 °C menos que el punto de fusión de los metales puros. En muchos casos

se encuentran “tumbagas” con contenidos variables de cobre de 30 a 75%, oro (40%) y plata (20%). Esto se observa en la Figura 6.

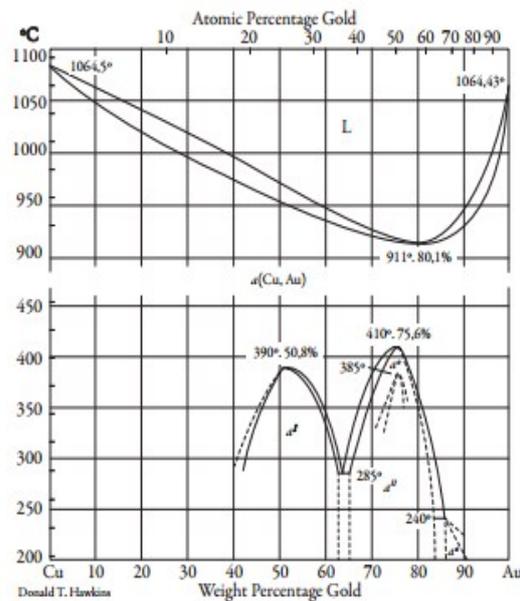


Figura 6. Diagrama de fases oro-cobre. Se muestran composiciones típicas del poporo quimbaya y las tumbagas colombianas. Archivos del autor.

Es necesario destacar que se encuentran piezas fundidas de las culturas Quimbaya y Tolima en varias etapas, donde utilizan un color diferente para obtener como resultado un conjunto movable de gran vistosidad. Primero se fundía a la cera perdida la parte de la pieza de oro más puro, luego se fundía el resto con una aleación de alto contenido de cobre que requería una temperatura un poco más baja, lo cual evitaba alteraciones en la parte fundida previamente. El proceso era repetido con aleaciones cada vez más ricas en cobre. Hoy se conoce una variante de este proceso llamada “cladding”.

El oro para la fundición de la “tumbaga” lo obtenían por el comercio con los caciques de las minas de Buriticá en Antioquia, profundido en forma de “tejuelos”, por el oro libre extraído del Chocó y los

valles de los ríos de las Cordilleras Central y Occidental. El cobre era nativo y abundante en la región y lo traían de las minas de Monquirá. Sin embargo, las piezas fundidas eran sometidas después al dorado por oxidación: la pieza se calentaba al rojo naciente en una atmósfera oxidante, formándose sobre la pieza la característica pátina verde de las aleaciones de cobre, consistente de óxido de cobre. Posteriormente, la pieza se sumergía en una solución fuertemente ácida en presencia de sal. En Ecuador y Colombia se utilizaron plantas de la familia “oxalis” para tal fin. El óxido de cobre formado era disuelto por el ácido. Al repetir varias veces esta operación, se obtenía una capa superficial muy rica en oro, y el interior de la “tumbaga” permanecía inalterado. En otros casos se doraba por afinación, es decir, la pieza se sometía por muchas horas a una temperatura inferior a la de su fusión, dentro de una mezcla bien aprisionada de ar-



Figura 7. Poporo quimbaya. Mide 11,4 cm de ancho por 23,5 cm de alto. Archivos del autor.

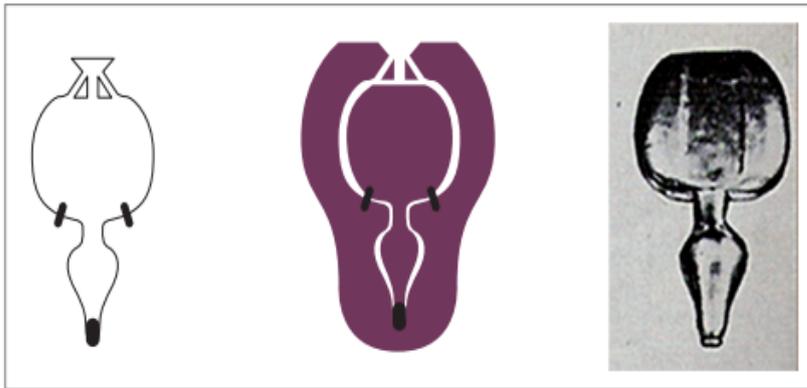


Figura 8. Diagrama que ilustra el uso de soportes de núcleo durante la fundición a la cera perdida de una vasija hueca quimbaya.

A la izquierda: el núcleo, de arcilla y carbón, es modelado en la forma del objeto. Se cubre con una capa de cera y se coloca en soportes para mantenerlo fijo cuando esta se derrita.

En el centro: al conjunto se le hace un molde de arcilla unido al núcleo por los soportes. Al calentarse, la cera se derrite dejando libre el lugar para recibir el oro líquido.

A la derecha: después de romper el molde y extraer el modelo, la pieza se limpia y pule quedando tal como se puede apreciar en esta fotografía.

Archivos del autor.

cilla y sal íntimamente mezcladas. “A la temperatura del rojo naciente, por la acción de la sílice, se produce cloro naciente, el cual ataca todos los metales, inclusive el oro. Los cloruros formados se volatilizan y el cloruro de oro se descompone instantáneamente a medida que se va formando, reduciéndose a oro fino”, anota Barriga Villalba.

Los objetos quimbayas se caracterizan por “el alcance de superficies lisas, muy simples y suavemente redondeadas. En muchos casos pulida hasta lograr gran brillo”. A la vez, dichos objetos eran totalmente huecos y cerrados con la parte trasera abierta con estructuras semicerradas. Una constante de dichas piezas era el énfasis en la figura cerrada, intacta en su totalidad y tridimensional, como el caso de nuestro poporo que aparece en la figura 7.

Nótese que en las culturas Calima y Tolima las piezas eran sólidas y plenas. En el caso quimbaya, las piezas eran fabricadas mediante fundición a la cera perdida con núcleo, ya que generalmente las piezas eran recipientes de boca estrecha. Los pasos del proceso se ilustran en la figura 8.

FUNDICIÓN A LA CERA PERDIDA CON NÚCLEO

El tamaño y número de estos soportes era variable (de 3 hasta 36). Una vez terminada la fundición se rompía el molde exterior y se extraían los soportes. El desmoldado se hacía a través de estos orificios. Los agujeros circulares dejados por ellos en la pieza están taponados por alambres metálicos gruesos de forma cónica, que según se evidencia radiográficamente penetran más allá de la pared de la pieza.

La línea de unión de la reparación era disimulada por medio del pulimento. La pieza posteriormente se doraba por oxidación.

El auge de la orfebrería quimbaya decae hacia los siglos X y XII d. de C., al predominar una nueva corriente cultural caracterizada por la aplicación de las técnicas de fundición hacia formas simples como narigueras y colgantes. La razón de esto parece haber sido el contacto con los indios de habla karib, procedentes de la Amazonía colombiana. Por su lado, los muisca, que junto con los taironas pertenecen al grupo lingüístico chibcha, utilizaban el proceso de cera perdida para sus piezas caracte-

rizadas por ser planas, sin núcleo y en ocasiones series de la misma figura. Las figuras humanas, comúnmente llamadas “tunjos”, no eran sometidas a ningún tipo de tratamiento luego de fundidas, conservan los excesos de metal, el embudo y los conductos por donde fluyó el metal. El contenido de la representación, guiada por la exigencia de la ofrenda, era más importante que el cuidado en la manufactura o la calidad del acabado. Los habitantes depositaban sus ofrendas en santuarios a través de los y sacerdotes. Sin embargo, anota Barriga Villalba: “La técnica chibcha en la metalurgia del oro y el arte de sus orfebres, tan característicos, produjeron piezas aparentemente simples clasificadas por algunos como formas crudas y pueriles, pero que son, por el contrario, una verdadera representación del pensamiento indio. Sin proporcionalidad en las partes”. Las figuras muisca que representan el hombre y la mujer son como símbolos de una idea fundamental, de ahí la simplicidad del modelado esquemático, que prescinde de la realidad en las formas.

Para fundir piezas planas como tunjos, orejeras y narigueras, el orfebre seguía el proceso siguiente, ilustrado en la figura 9.

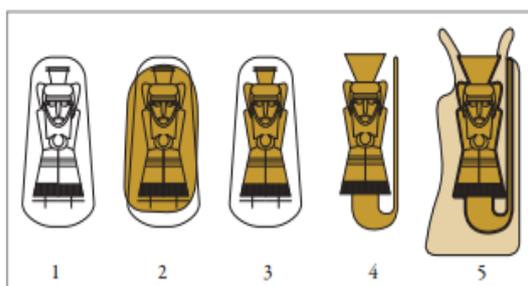


Figura 9. Proceso para fabricar tunjos en serie a partir de matrices de pizarra. Archivos del autor.

Las matrices de piedra se utilizaban para fabricar piezas en su serie. “Las matrices se elaboraban tallando piedras de poca dureza hasta obtener el diseño en alto relieve. La mayoría de estas piedras tienen cuatro lados y presentan múltiples motivos en todas sus caras. Los motivos de las

matrices se utilizaban para imprimir sobre arcilla blanda el diseño representado. Seca la arcilla, se recubría el interior del molde así obtenido (con cera), sobre la cual nuevamente se estampaba la matriz de piedra. El resultado era un modelo en cera impreso por ambas caras, el cual, hecho en serie, servía para fundir mediante el procedimiento de la cera perdida, la cantidad de objetos requeridos”, anotan Plazas y Falchetti.[1]

Sin embargo, en ocasiones muy especiales fabricaban moldes únicos, el más representativo entre ellos es la Balsa del Dorado, como se observa en la figura 10.



Figura 10. Balsa del Dorado. Cultura muisca, Pasca, Cundinamarca. Archivos del autor.

La cultura Sinú, dividida en tres cacicazgos, cubría los valles de los ríos Sinú, San Jorge, bajo Cauca y Nechí. Se caracterizaba por el uso pródigo del metal y la producción masiva de objetos comerciales. Anota Fray Pedro Simón (1625) que sus moradores eran “plateros de labrar el oro con primor a que acudiendo los de las otras (provincias), las hacían grandes pagos por su trabajo”. Se considera que su orfebrería es posterior al 1510. Repro-



dujeron la fauna propia de la sabana y de los cenagales (aves, caimanes, jaguares, pecaríes, etc.) restándole a sus rasgos cualquier signo de agresividad. La figura 11 muestra los pasos seguidos para un remate de bastón con apariencia de pájaro.

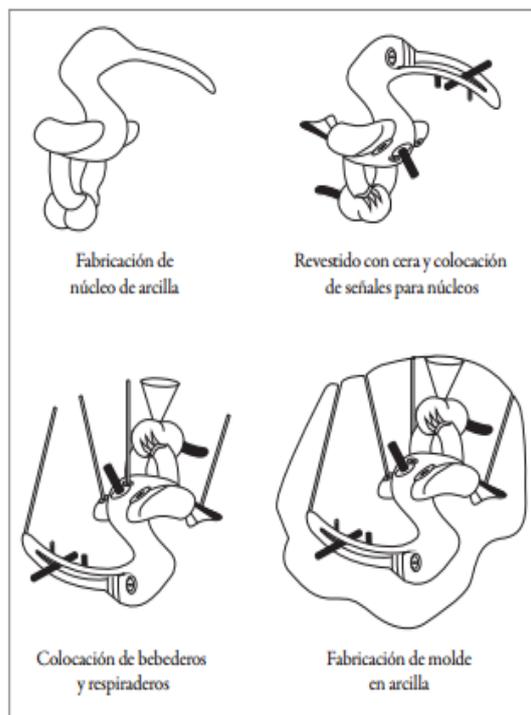


Figura 11. Pasos sugeridos para un remate de bastón Sinú, según Easby, *Sci. Am*, 214, 4, 1966. Archivos del autor.

Los taironas se caracterizan por la fabricación de símbolos unitarios de gran delicadeza: “Son figuras de hombres y animales que se mezclan en una abigarrada iconografía”. Fue una fusión que debió corresponder tanto a una identificación totémica como a la intención mágica de apropiarse de los poderes de los animales plasmados. Es común hallar hombres-ave hombres-jaguar y hombres-murciélagos. Son comunes los colgantes figurativos usualmente denominados “caciques” y fueron muy utilizados como se observa por el desgaste que exhiben. Utilizaban extensamente la “tumbaga” que luego graban superficialmente.

Asimismo, se deformaban el rostro utilizando narigueras o diademas que daban al portador el aspecto de murciélagos o jaguares.

Es probable que la técnica originada por la cultura Quimbaya influyera no solo en el norte y centro del país, sino que se extendería a Panamá, Costa Rica, Honduras y de ahí posiblemente haya pasado a los aztecas. La técnica de la cera perdida llegó a estos últimos en épocas tardías, posiblemente a finales del siglo X d. de C.; sin embargo, desarrollaron sus propios refinamientos.

Grandes metalúrgicos por excelencia dominaron la técnica de la soldadura de oro con plata y trabajaron con destreza la fundición del bronce. Utilizaban para los modelos “La Cera Campeche” o cera de abejas mezclada con resinas como la goma de copal (lo que hoy se utiliza como colofonia), para proporcionarle dureza y trabajabilidad. Una vez listo el modelo, junto con los vaciaderos y vientos, lo pintaban con una emulsión de carbón de leña finamente molido con agua, para asegurar en la pieza final fundida una superficie lisa y brillante. Esta solución la llamaban “teculatl”, literalmente agua-carbón y es equivalente en la fundición de precisión moderna a la pintura hecha con silicato de sodio (o de potasio) y grafito. Las superficies rugosas de las partes traseras de las figuras de algunas piezas de Panamá, Costa Rica y México, tanto en las partes frontal como posterior de las figuras votivas chibchas, mostraron que estas áreas no fueron pintadas.

Anotaba Fray Bernardino de Sahagún (1558): “El modelo en cera era luego atravesado por pequeñas estacas o clavijas de madera parecidas a espigas de maguey (los cuales sirven más adelante para tener y suspender el núcleo). Después de vaciado el molde, los orificios dejados por los soportes no se rellenaban”.

La técnica alcanza su máxima expresión en México, en el área de Oaxaca, durante los siglos XV y XVI d. de C. Los mixtecos trabajaron también el arte de la filigrana fundida, presumiblemente por una técnica de extrusión de la cera (análogo a la de la India), única en el Nuevo Mundo.

A raíz del saqueo de los españoles a nuestro oro y su afán desahogado de riqueza, nuestra antigua cultura metalúrgica de 1200 años se extingue totalmente, pero los peninsulares asimilan las técnicas de los orfebres indígenas para refinar al oro de los metales cobre y plata, utilizando el procedimiento de afinación con arcilla y sal, y para acuñar las primeras monedas de circulación española en la Casa de la Moneda de Santa Fe, utilizando el proceso de la cera perdida. De ahí la cera pasó a España y a Europa. Posteriormente, las monedas fueron acuñadas por troquel, lo que confinó el proceso a la joyería.

El rastro de la cera perdida en el Viejo Mundo vuelve a encontrarse en los siglos XV y XVI d. de C., cuando aparecen interesantes piezas fundidas en bronce por distintas tribus africanas muy desarrolladas.

EVOLUCIÓN EN EL RENACIMIENTO ITALIANO

Ghiberti, quien hace escuela de bronceístas en Florencia entre los años 1403 y 1452, realiza las dos puertas del Baptisterio (Puertas del Paraíso). Debe recordarse que en el año 1329, fue Andrea Pisano quien hizo la primera puerta del Baptisterio.

Contemporáneamente, se realizaron las primeras estatuas monumentales en bronce a la cera perdida de la Edad Moderna.

Posteriormente, Donatello aprende la técnica de Ghiberti, con quien trabajó de aprendiz en los años 1403 a 1406.



Figura 12. Autorretrato de Ghiberti. Puertas del Paraíso, Baptisterio, Florencia. Archivos del autor.

Verrocchio y Pollaiuolo deben su pericia en el trabajo del bronce a Donatello, perdiéndose esta tradición hasta el 1540, cuando Benvenuto Cellini tiene que empezar de nuevo.

En 1538, Vannoccio Biringuccio, director de la fundición papal, contemporáneo de Leonardo da Vinci, describe con gran detalle las prácticas de fundición en su *Pirotecnica*: “Existen así mismo moldes para grandes estatuas, las cuales si uno desea fabricarlas en bronce, se hacen primero en cera de acuerdo a la práctica ordinaria”.

Esta “práctica ordinaria” consistía en la creación del modelo original en cera, el cual se pulía y embellecía según el artista; cada modelo era una obra de arte. Después se

SERVICIOS Y SOLUCIONES Industriales A NIVEL DE SUS NECESIDADES



AUDITORÍA TERMOGRÁFICA
Permite detectar las pérdidas de calor en sus equipos y procesos



ANÁLISIS DE VIBRACIONES
Para tener un mantenimiento predictivo y evitar paros de sus equipos



ALINEACIÓN LÁSER
Alineación rápida y precisa



MECANIZADO DE PIEZAS EN ACERO INOXIDABLE



FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SELLOS MECÁNICOS



VENTA, REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS Y MOTORES



AISLAMIENTO TÉRMICO EN FRÍO Y CALIENTE



SELLADO DE FUGAS EN VIVO



Escanea el código y conoce nuestra línea de productos industriales

Contáctenos:

PBX: (574) 370 47 00
sealco@cisealco.com
www.cisealco.com

Avenida 37 B N° 38A-12 (Itagüí - Colombia)





Figura 13. Figura de fuente, bronce dorado, 61 cm, Donatello, Florencia. Archivos del autor.



Figura 14. Perseo con cabeza de Medusa, Bronce, 1554, 3.5 ton, Florencia. Archivos del autor.

cubría con una lechada de yeso, construyendo capas sucesivas hasta que una cáscara resistente envolvía la cera. Alternativamente, la imagen era sumergida en un recipiente con yeso recién preparado, el cual se endurecía en corto tiempo. Después de fundir la cera y vaciar el metal dentro del hueco, se creaba un duplicado perfecto del modelo original.

En su autobiografía, Benvenuto Cellini describe la fabricación del modelo de cera y la fundición de su famosa estatua de Perseo, la cual tuvo lugar en condiciones dramáticas en los años 1548-49. Según él, aprendió la técnica de la cera perdida de una descripción del monje Theophilus (cerca del 1100) en su *Schedula Diversarum Artium*.

Según Ammen, “el método usado por Cellini –y de uso general durante un tiempo– fue revestir al modelo de cera y su sistema de vaciado en una mezcla compuesta de mitad arcilla, mitad arena, la cual contenía crin de caballo. El material de “matacho” era similar, pero contenía estiércol para incrementar su permeabilidad.

Entre las obras más sobresalientes vaciadas por este proceso se pueden citar:

- Las puertas de Nowgorod y Gnesen.
- Las hojas de la puerta y la columna de Cristo de San Bernward, en la catedral de Hildesheim.

- Los pórticos del Baptisterio de Florencia, de Ghiberti.
- La Estatua Ecuestre del Gran Elector. Fue creada por Andreas Schlüter hacia 1700. Se halla frente al palacio de Charlottenburg y fue fundida en una sola pieza. Para la ejecución del modelo se emplearon 485 kg de cera amarilla. Cabe anotar aquí que el peso de dicha pieza es de cinco toneladas aproximadamente, y su fusión debe haber requerido la manipulación de esas grandes cantidades en horno de cubilote, con sangrado continuo.



Figura 14. Estatua del Gran Elector von Brandenburg, Andreas Schlüter, 1703, palacio de Charlottenburg, Hamburgo. Archivos del autor.

Naturalmente, los ejemplos citados son solo algunos entre la gran cantidad de objetos de arte fundidos por este proceso, el cual se extendió a la técnica de la joyería y la bisutería.

EVOLUCIÓN EN LA ÉPOCA MODERNA

En 1897, el dentista americano B. F. Philbrook, de Iowa, usó el proceso para implantes dentales a base de oro, y a comienzos de nuestro siglo, se incrementó la demanda.

En 1929, R. W. Erdel y C. H. Prange desarrollaron, también para uso dental, aleaciones vaciadas a base de cobalto. En 1936, se desarrolló la aleación de cromo-cobalto altamente resistente a la corrosión y de características únicas como la no maquinabilidad y laminación.

Hasta hace pocos decenios se utilizaba el procedimiento para la producción de piezas aisladas o para series pequeñas. La producción industrial en serie requirió de un mayor control en las dimensiones y forma de las piezas. Los modelos que ya no eran fabricados manualmente se obtuvieron por medio de matrices y, para hacer rentable la producción, hubo necesidad de agrupar el mayor número posible de piezas en racimos para ser fundidos de una sola vez.

Paralelamente, hubo mejoras en las técnicas de obtención de las matrices y de los refractarios y ligantes, con el fin de trabajar aleaciones de muy alto punto de fusión.

Por la necesidad creada a raíz de la Segunda Guerra Mundial para la fabricación en gran escala de armas y aeronaves, la técnica se desarrolló inicialmente en los Estados Unidos, utilizando las mismas aleaciones y revestimientos ya usados por los dentistas. Se exigen del proceso de la cera perdida piezas en que se evite el mecanizado, la soldadura o el ensamble, a la vez que permitan conseguir un excelente acabado superficial y en estricto control dimensional. Vale mencionar los álabes de turbina para turbopropulsores en aleaciones de cobalto altamente refractarias; hoy en día, se vacían en superaleaciones con control de la solidificación para producir macrocristales. Al finalizar la Segunda Guerra Mundial, el procedimiento penetra masivamente en Europa.



El proceso sigue aplicándose invariablemente por los artistas modernos, entre ellos se pueden mencionar:

- Las bailarinas en bronce de Degas.
- El Balzac de Rodín.
- Las obras de Moore.
- La Noche de Aristóteles Maillol.
- Formas únicas de continuidad en el espacio de Umberto Boccioni.
- Cabeza de una famosa bailarina de Constantín Brancusi.
- Mujer sentada de Raymond Duchamp.
- Escultura Oval de Bárbara Hepworth.
- Bodegón y otras, de Fernando Botero.

Hoy en día, la técnica de la cera perdida constituye una gran industria que produce una cantidad inconcebible de piezas en los más variados metales, tamaños y formas. Sus usos van desde las prótesis de huesos en medicina hasta la fabricación de máquinas de coser, telares, envolvedoras, empaquetadoras, herramientas, etc.

REFERENCIAS

1. Museo del Oro. Banco de La República. El Dorado. Litografía Arco. Bogotá.
2. Easby, Dudley. Earlt Metallurgy in the New World. Scientific American. 214, 4, p.72. 1966
3. Banco de la República. Metalurgia de la América Precolombina. 45° Congreso Internacional de Americanistas. Bogotá, 1986.
4. Barriga Villalba, A. M. "Orfebrería chibcha y su definición científica". Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas y Naturales. Vol. XI, 43, 1961.
5. Investment Casting Institute, The Investment Casting Process. How it works.and what it does. IIC Dallas, Texas.
6. Pérez de Barradas, José. Orfebrería Prehispánica de Colombia. 1966.
7. Ammen, C. W. Lost wax Investment Casting. Tab Books, 1977.
8. Cellini, Benvenuto. Mi Vida. M. Aguilar, 1940.
9. Plazas de Nieto, C. y Falchetti de Sáenz. A.M. "Orfebrería Prehispánica de Colombia". Boletín del Museo del Oro. Banco de la República. Año 1, Sept. 78, Bogotá.
10. El Sello Editorial. Secretos del Dorado. El Sello Editorial, 1978, Bogotá.
11. American Foundryments Society. MetalCasting and Moulding Processes. AFS, USA.
12. Wittkower. La Escultura. Procesos y principios. Alianza Editorial, Madrid, 1977.
13. Unesco. Historia Antigua. Historia de la Humanidad.
14. Salvat. Historia del Arte. Salvat Editores. 1970.
15. Echavarría Alejandro. Segundo Seminario de Cera Perdida, Universidad de Antioquia, 1992.



CORPOMETALUDEA SAS

CORPORACIÓN DE INGENIEROS METALÚRGICOS Y DE MATERIALES DE LA UDEA SAS

SERVICIOS:

Investigación Aplicada: En beneficio de minerales, materiales, metales, gestión ambiental y salud laboral

Capacitación Técnica Especializada: en caracterización, beneficio y procesamiento de metales y materiales, gestión de residuos, salud laboral, gestión ambiental, procesos productivos limpios y desarrollo sostenible. **Diplomados en estas áreas.**

Participación en Proyectos: de investigación, desarrollo y aplicación.

Asesorías Técnicas e Interventorías: En caracterización, beneficio y procesamiento de metales y materiales, gestión de residuos, salud laboral, gestión ambiental, procesos productivos limpios y desarrollo sostenible. En materiales estructurales y productos.

Servicios de Laboratorio: beneficio de minerales, análisis químico, metalográfico, defectología, ensayos al fuego en oro y plata y determinación de leyes.

Universidad de Antioquia
calle 67 No. 53 – 108
Bloque 18 oficina 126
Teléfono: 2 19 55 46

Email: corpometaludea@gmail.com

Directivos:

Jesús Ramírez Cardona / Cel: 310 824 0215

Email: jesusrcco@yahoo.es

Cielo Salinas Correa / Celular 320 410 7187

Email: salinascielo@gmail.com