

# ¿Qué sabían de fundición los antiguos habitantes de Mesoamérica? Parte II

D.M.K. de Grinberg

Sección de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, UNAM

krasnop@servidor.unam.mx

krasno@att.net mx



## ELABORACIÓN DE OBJETOS POR FORMADO CON ALGÚN MÉTODO MECÁNICO

La propiedad más llamativa de los metales y que más ha contribuido al desarrollo de la humanidad, es que se les puede dar forma por alguno de los procedimientos mecánicos de uso frecuente. Esta propiedad se denomina ductilidad.

Parece que el martillado, por ser una técnica de la edad de piedra, fue utilizada antes que la fundición. Sin embargo, los objetos que se pueden hacer por martillado no son variados. Por él se puede convertir una pepita de oro o un trozo de cobre nativo en una lámina. El oro tiene la característica de no requerir fundir varias pepitas juntas para fabricar una lámina grande, sino que basta con martillarlas juntas para que se “suelden”. Esto también sucede con el platino, pero no con la plata y el cobre. Pensamos que ésta fue una de las razones por las que el oro fue el primer metal trabajado por el hombre.

Existen varios procedimientos distintos para dar forma a los metales: Un metal puede ser extrudado si se lo introduce dentro de un tubo y se le aplica una presión que lo haga pasar a través de un agujero de salida que le da forma determinada, de manera similar a como se fabrican los churros. Sin embargo, pese a lo simple del método, no hay pruebas de que existiera la extrusión, y esta es una técnica mucho más moderna, debido posiblemente a la dificultad de aplicar grandes presiones.

Existe otra manera de cambiar la forma de un metal y es hacerlo pasar a través de agujeros. Los agujeros individuales, de diámetro cada vez menor, son horadados sobre una placa. Así, tanto cada agujero como la placa recibe el nombre de trefila. Para trefilar se parte de una barra que tenga un diámetro próximo al tamaño del agujero más grande, se la afina en un extremo, se pasa dicho extremo a través del agujero más grande y se jala por el otro lado, de manera de obligar al metal a pasar por él y reducir su diámetro. Como el volumen se mantiene constante, dicha disminución de sección irá acompañada por un aumento de longitud. Esto nos permite convertir la barra en un alambre.

Si bien es posible obtener alambre por martillado, golpeando el metal con un mazo y girándolo después de varios golpes, si el alambre es largo no es fácil que la sección se mantenga constante. La fabricación de alambres metálicos que



En el número 22 de *INGENIERÍAS* se publicó la Parte I de este artículo.

tengan sección uniforme se obtiene más fácilmente empleando trefilas. Pese a que no está confirmada la existencia de trefilas en Mesoamérica, creemos que una vez adquiridas las técnicas de horadar y afilar piedras, en el período lítico, no debe haber sido difícil para aquellos hombres perforar una piedra dura, formando una trefila. Quizás algunas de las cuentas de piedra horadadas que se encuentran en los museos podrían haber sido empleadas para fabricar alambres. Nuestros estudios de alambres de Ag-Cu provenientes de Tzin-Tzun-Tzan<sup>21</sup> prueban que estos fueron fabricados por martillado.

Desde luego, disponiendo de alambres obtenidos por martillado o por trefilación, el aborígen de América pudo fabricar anzuelos, alfileres, agujas, etc.

Otra propiedad importante que tienen los metales y que fue utilizada desde el comienzo de la metalurgia es que los metales endurecen por martillado en frío. Si en la elaboración de un hacha partimos de una barra rectangular obtenida por fundición y se le martilla un extremo para producir el filo, se puede comprobar que el metal, en particular si es cobre, endurece. Esto produce un filo agudo y resistente al desgaste. En cambio, si tratamos de aplicar el mismo procedimiento al oro, veremos que este metal no endurece por martillado en frío. Esta puede ser la razón de que los indígenas colombianos agregaban cobre al oro, cuando fabricaban sus armas y herramientas, como fue descrito ampliamente por los conquistadores.<sup>22</sup>

El endurecimiento del metal por martillado puede ser eliminado por un calentamiento a bajas temperaturas que recibe el nombre de recocido. En la figura 2 se ve que sobre el horno de reducción se han colocado varias herramientas a recocer.

Es importante señalar que cuando se martilla un metal en frío, este se vuelve más duro hasta que suceden dos cosas:

- 1) La fuerza del orfebre que martilla en frío no es suficiente para seguir deformando la lámina.
- 2) La lámina comienza a romperse, formando fisuras a partir de los bordes.

Cualquiera de estas circunstancias es un problema que, sin embargo, tiene varias soluciones:

- a) En lugar de martillar el metal en frío es conveniente calentarlo y comenzar a golpear hasta

que se vuelve a enfriar y sea necesario calentarlo nuevamente. Este proceso, llamado de deformación en caliente, es empleado en la industria moderna y fue conocido por los antiguos aborígenes de Mesoamérica, como hemos probado en varios alambres tarascos que estudiamos.<sup>19</sup>

- b) Se puede martillar en frío y, antes de que se formen las fisuras en los bordes, se calienta el metal. Luego se puede seguir martillando en frío otro poco y cuando el metal endurezca, volverlo a calentar. Este procedimiento, llamado recocido intermedio, también es utilizado en la metalurgia moderna cuando se trefila alambre. Hemos comprobado que los tarascos lo utilizaban también en la fabricación de alambres.<sup>14</sup>

Debemos hacer la aclaración de que el oro también endurece un poco por martillado pero su temperatura de recocido se encuentra en la proximidad de la temperatura ambiente y, tan pronto como endurece, se recuece espontáneamente.

Por martillado también es posible obtener recipientes, tales como vasos o vasijas cóncavas. Para ello, se martilla con un mazo la lámina sobre un soporte que puede ser un tronco duro, de superficie muy lisa, hasta que la lámina, luego de golpearla y rotarla repetidas veces, va tomando la forma que se desee. Cuando los españoles llegaron a Tenochtitlan les llamó la atención que Moctezuma usara vasos, platos y cajetes de oro,<sup>15</sup> lo que los llevó a una idea equivocada de la cantidad de oro que había en México. Si hubieran sabido metalurgia, se habrían dado cuenta que los vasos los hacían de oro porque éste es muy fácil de deformar y no requiere recocidos intermedios de ablandamiento para seguir deformándolo hasta convertirlo en un vaso. Si hubieran querido hacerlo con cobre, éste necesitaría de infinidad de recocidos intermedios y, como el cobre se oxida durante el calentamiento al aire, el resultado final sería desastroso: los vasos se destruirían durante la fabricación. Hemos estudiado algunas pequeñas



vasijas de cobre y anillos sencillos planos, provenientes de Toniná, Chiapas<sup>23</sup> que están fabricados no por la técnica de martillado como sería de esperar debido a lo simple de las formas, sino por fundición. Lo anterior nos hace pensar que no todas las culturas de Mesoamérica dominaban el martillado de los metales con recocidos intermedios.

Las láminas, especialmente las de oro, fueron empleadas en Mesoamérica como recubrimiento en objetos de madera y de cerámica,<sup>24</sup> con una técnica muy similar a la que emplearon los egipcios: para ello adelgazaban las láminas de oro hasta convertirlas en hojas y aplicaban un pegamento sobre la superficie a recubrir, ya que disponían de numerosos tipos de pegamentos vegetales<sup>25</sup>, por último extendían con cuidado la lámina sobre el objeto.

La observación de una mascarilla ritual de madera con recubrimiento de lámina de oro, existente en el Field Museum of Natural History de Chicago, y adjudicada a la cultura mixteca (Ada Turnbull Hertle Fund 1965.782, c. 1300-1400 a.D.) muestra que la lámina de oro fue pegada sobre la madera con chapopote.

Sahagún describe,<sup>26</sup> con todo detalle cómo estaba organizado un taller metalúrgico en la zona de Azcapotzalco, en donde vivían los fundidores y batihojas de Moctezuma, y cómo estaba distribuido el trabajo.

Luego de obtenidas, las láminas eran recortadas, aparentemente con buriles de piedra en la primeras etapas del desarrollo tecnológico, para darles la forma deseada. En la etapa posterior, en la Edad del Bronce, se desarrollaron buriles o cortadores de este metal, de lo que hay pruebas en todas las colecciones americanas.

Luego de recortada se procedía a decorar la pieza en bajo relieve o simplemente siguiendo un dibujo hecho sobre la lámina por medio de un instrumento cortante, generalmente de piedra.

Por los relatos de los comentaristas que llegaron a Mesoamérica, en el caso particular de México, los artistas que se dedicaban al arte plumario, tan apreciados por los aztecas, estaban en íntima relación con los orfebres y, según Sahagún,<sup>27</sup> eran ellos los que diseñaban los dibujos para las joyas que luego los orfebres grabarían. Esta relación entre los orfebres



Fig. 7. Lámina 53 del Códice Florentino.

y los trabajadores de la pluma es referida por Sahagún de la siguiente manera:

“32. Antaño los batihojas solamente se dedicaban a batir el metal fino; lo hacían maleable, lo adelgazaban muy bien y lo pintaban con rayas negras” (Figura 7).

“33. En primer lugar, les escribían (el objeto) los trabajadores de pluma, luego ellos lo dibujaban con un pedernal; iban siguiendo el contorno de la línea negra, de modo que quedara escrito y dibujado con el pedernal; le hacen realces para que quede tal como es el modelo”.

“34. Ahora, en donde se necesita su obra, ya sea de pintura de plumas, ya sea de artefacto de plumas, se requiere que se les asocien y se les enseñe a los auríferos los artistas de la pluma. De esta manera labran todo lo que quieren unidos a los de arte plumaria. (Figura 8)

El operario que se dedicaba al martilleo de los metales recibía el nombre nahuatl de cequin moteneua tlazolzonque equivalente al nombre en castellano de amajador o batihojas, mientras que el grabador era llamado tlacuiloua y el engarzador tlatlanime. Esto hace pensar que, dada la diferenciación del trabajo, debía existir toda una organización en los talleres metalúrgicos. Desgraciadamente, no ha alcanzado la luz, hasta ahora, ningún taller metalúrgico prehispánico, aunque sabemos por fuentes históricas



Fig. 8. Lámina 54 del Códice Florentino.

cas,<sup>28</sup> que los orfebres del rey vivían en Azcapotzalco. Por Sahagún sabemos cómo se distribuía el trabajo:

“1. En este capítulo se comienza a tratar de los oficiales que labran oro y plata: los oficiales que labran oro son de dos maneras, unos de ellos se llaman martilladores amajadores, porque éstos labran oro de martillo, majando el oro con piedras o martillos, para hacerlo delgado como papel; otros se llaman tlalianime, que quiere decir, que asientan el oro en alguna cosa o en la plata; estos son verdaderos oficiales que por nombre se llaman tolteca; pero están divididos en dos partes, porque labran el oro cada uno a su manera”.

En las adiciones al libro nono<sup>29</sup> continúa Sahagún con el tema:

“Aquí se divulga la relación de cuantos artífices: los que se llaman toltecas (labradores), amanteca (plumarios), tecuitlahuaque (gente que trata los metales finos de oro y plata), tlateque (cortadores de piedras en general) y chalchiuhtlateque (gematista).”

“1 - Los primeramente mencionados son los que tienen que ver con el oro fino, los fundidores de él. Y de los labradores de oro y plata son diversos los oficios y se dividen y reparten sus artes y hechuras.”

“2 - Unos se nombran batihojas. Estos no tienen más oficio para con él, que batir el metal fino, adelgazarlo, con piedras extenderlo donde sea necesario, y laminarlos y adelgazarlos.”

“3 - Y otros se llaman ajustadores. Estos precisamente se llaman artistas.”

## LA ELABORACIÓN DE OBJETOS METÁLICOS POR FUSIÓN Y COLADO (FUNDICIÓN)

Hasta aquí la metalurgia emplea los instrumentos de la lítica. La fundición en cambio tiene su raíz en la cerámica.

Si el metal se calienta en el interior de un recipiente, muy parecido a un vaso, llamado crisol, al alcanzar una cierta temperatura, que es diferente según el metal en cuestión, éste se licúa. La temperatura a la que esto sucede se llama temperatura de fusión del metal.

En los procesos de fundición se requiere otro tipo de herramientas que las empleadas en la deformación. Para fundir es indispensable disponer de un crisol en cuyo interior se coloque el metal a fundir, sea este metal nativo u obtenido por reducción de los minerales o varios metales juntos.

En Mesoamérica se empleaban crisoles fabricados con troncos de carbón de leña horadados, y ésta podría ser la razón por la que no han aparecido crisoles durante las excavaciones: los crisoles se irían destruyendo durante repetidos usos. En Sudamérica, en cambio, los crisoles eran de cerámica y su forma era tronco-cónica.

Una vez que se tenía fundido el metal era necesario colarlo (verterlo) en un molde. Esto fue, sin lugar a dudas, un problema para los fundidores. Sería necesario encontrar la manera de inclinar el crisol o de cogerlo para verter su contenido. Es evidente que no podrían tomarlo con las manos y no hay evidencia que se utilizaran pinzas de metal, como se hacía en Egipto y Grecia,<sup>30</sup> y se hace actualmente. Las distintas civilizaciones metalúrgicas del mundo emplearon en sus inicios distintos procedimientos, fruto de su ingenio: los egipcios cogían el crisol, que tenía forma de una vasija cóncava, entre dos fundidores por medio de dos ramas verdes, una por encima y otra por debajo, y de esta manera lo transportaban por encima de los moldes y vertían el metal fundido inclinándolo sobre ellos. En otras regiones de Asia, el crisol tenía un tipo de manguillo agujereado que permitía introducir en él un palo y moverlo de la misma manera que se hace con una sartén. Otra



demostración del ingenio europeo fue hacer los crisoles con su base esférica de manera que, empleando un palo en forma de mango de paraguas, se inclinara el crisol para verter el contenido.

La mayoría de los crisoles sudamericanos son tronco-cónicos<sup>31</sup> pero no se han encontrado dibujos ni descripciones coloniales de cómo los manejaban. En el caso de Mesoamérica pensamos que es posible que los crisoles tuvieran un mango como los sahumeros, aunque no se han reconocido ejemplos durante las excavaciones y estamos esperando que los arqueólogos nos den respuestas a estas incógnitas. La ausencia de herramientas de fundición hace pensar que se emplearía un procedimiento similar al que utilizaban los egipcios.

Si vertemos el metal líquido o fundido en un molde, dicho metal tiene la propiedad de llenar el molde y tomar como forma exterior, la forma interior del molde. En definitiva, un molde no es otra cosa que un recipiente fabricado de un material que no sea fácilmente destruido por el calor.

En algunos lugares de Sudamérica se encuentran moldes de cerámica separables en varias partes, mientras que en Mesoamérica no han aparecido moldes ni fragmentos de ellos. Esto se explica con base en lo que dice Sahagún.

Sahagún en las adiciones al libro nono,<sup>31</sup> hace una cuidadosa descripción de las técnicas de fabricación de los moldes y de la colada del metal, empleadas por los aztecas.

Transcribimos su descripción:

“De la manera de labrar de los plateros”

“1 - Aquí se declara en qué manera hacían algo los fundidores de metales preciosos”.

“2 - Con carbón, con cera diseñaban, dibujaban algo, con lo que fundían metal precioso, sea amarillo, sea blanco”.

“3 - Con esto daban principio a su arte. Primeramente el que presidía les repartía carbón. Primero lo muelen bien, lo hacen polvo, se lo reduce a menudo polvo”. Figura 9.

“4 - Y ya que lo han molido, luego lo juntan, lo mezclan con un poco de lodo de ollero, el que es pegajoso, con el que hacen las ollas. Con esto desaparece, desbasta, hace pegajoso al carbón, con esto se endurece, se adelgaza”.



Fig. 9. Lámina 41 del Códice Florentino.

“5 - Y cuando lo han acabado, de igual manera hacen laminillas, las tienden al sol, y otras laminillas hacen de semejante manera que ponen al sol”.

“6 - En dos días se secan, se resecan, se enjutan, se endurecen. Cuando se ha secado bien, que se ha endurecido, luego se graba, se moldea el carbón con una navajita de metal”. Figura 10.

“7 - Si se comienza la figura de un ser vivo, de un animal, se graba, no más se sigue la semejanza, se imita lo vivo, para que de ello salga lo que se quiere hacer”

“8 - Supóngase que es un huasteco, un vecino, tiene su nariguera, su nariz perforada, su flecha en la cara, su cuerpo pintado con navajitas de obsidiana (tatuado); enteramente así se dispone el carbón al irse raspando, al irlo labrando cuidadosamente”.

“9 - Se toma cualquier cosa que se trata de ejecutar: como es su natural y su apariencia se dispondrá”.



Fig. 10. Lámina 42 del Códice Florentino.

“10 – Sea (verbigracia) una tortuga: exactamente así se dispone el carbón: su caparazón con que se irá moviendo, su cabeza que sale de dentro de él, que se mueve, su pescuezo y sus manos, como las está extendiendo”.

“11 – O sea un pájaro el que va a salir del oro; enteramente así se tallará, así se raspará el carbón: de modo que adquiera sus plumas, sus alas, su cola, sus patas”.

“12 – O sea un pescado que se va a hacer: enteramente así se raspará el carbón: adquiere sus escamas, sus aletas, así se acaban. Y así está parada su cola bifurcada”.

“13 – O bien, se ha de hacer una langosta acuática, o una lagartija, se le ponen las manos, sus patas (en esta forma) se labra el carbón. Cualquier cosa que se ensaye hacer, un animalito o un collar de oro que se ha de producir, con cuentas como semillas, con campanitas al borde, cosa de artificio, engalanada de flores”. Figura 11.

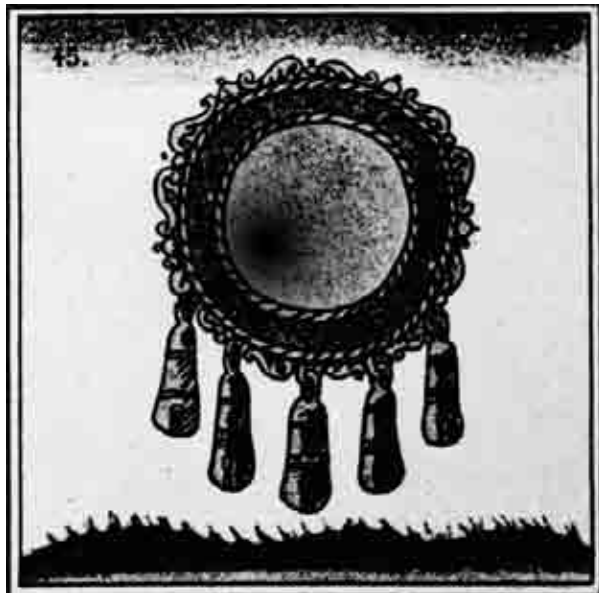


Fig. 11 - Lámina 45, del Códice Florentino.

“14 – Cuando se acaba de grabar el carbón, cuando se ha esculpido, luego se hierve la cera, mézclase con incienso blanco de la tierra (copal), con lo cual endurece bien. En seguida se purifica, se tamiza, para que con esto caiga la suciedad, su tierra, su lodo de la cera”. Figura 12.



Fig. 12 - Lámina 46 del Códice Florentino.

“15 – Y cuando ya está lista la cera, luego en una laja se adelgaza, se hace lámina con un rodillo de madera. Esa piedra laja es muy lisa, sumamente lisa en la cual se adelgaza y lamina (la cera)”. Figura 13.

“16 – Y cuando se ha adelgazado bien, como una telaraña, que ya no tiene grumos ni bolillas en parte alguna, luego se pone en el carbón, se extiende sobre la superficie; pero no se pone sin cuidado, sino



Fig. 13 - Lámina 47 del Códice Florentino.

que con tino poco a poquito se va cortando, se va despedazando, de modo que entre en los huecos, se pone en las estrías, en las cavidades y entradas, se embute donde se ha labrado el carbón; con un palito se va pegando”.

“17 – Y cuando se ha acabado de poner por todas partes la cera, luego se tiende polvo de carbón en agua sobre la superficie de la cera. Se muele bien se pulveriza el carbón; un poco grueso se extiende en la superficie de la cera”.

“18 – Y una vez que se ha hecho esto, otra vez se le pone una capa con que se reviste por completo y se cubre enteramente, con lo cual ya es el momento de dejar la obra con que se ha de fundir el oro”.

“19 – Esta capa es puramente carbón, mezclada con barro pegajoso, no muy molido, sino basto”.

“20 – Cuando se ha cubierto y revestido lo que se moldea, por dos días aún se seca, y luego se le pone el tubo para el oro. También hecho de cera; ese es el tubo que se hace al oro”.

“21 – Por allí ha de entrar cuando es derretido y otra vez con él se conecta. Se dispone el crisol, también de carbón, de hechura ahuecada”.

“22 – Luego así se toma el carbón; allí es cuando se funde y liquida el oro, con el cual luego entra el tubo de comunicación, con esto se entuba por allí y corre. Se pone en el suelo”.

“23 – Cuando se ha fundido el artefacto, el collar, que se intentó, o cualquiera de las cosas mencionadas, se pule con un pedruzco, y cuando ya se ha pulido, es cuando se le da un baño de alumbre”. Figura 14.

Un cascabel proveniente del sitio Tamtok, Monte Tamuin, en el Estado de San Luis Potosí. fue encontrado entre los depósitos de tierra de la parte sud (cuarto sudoeste) del montículo de La Laguna por los arqueólogos franceses M. y Mme. Stresser-Pean, quienes gentilmente lo enviaron a nuestro laboratorio para su estudio. Dicho cascabel conserva el recubrimiento exterior de carbón y la capa envolvente de barro que corresponde fielmente a la descripción de Sahagún de los apartados 17 y 18.

Parecería, por el relato de Sahagún, que los crisoles empleados eran de carbón, lo que permitiría explicar por qué no se han encontrado en ninguna excavación. Estos crisoles se autodestruirían durante su uso.



Fig. 14. Lámina 51 del Códice Florentino.

Ramírez *et al*, de la Facultad de Química de la UNAM,<sup>32</sup> estudiaron el efecto del copal molido agregado a la cera de abeja fundida y encontraron que en ciertas proporciones mejora la tersura de la cera y facilita su trabajo.

Parece que con la conquista española los orfebres comenzaron a emplear moldes de arena, como lo describe Sahagún:<sup>33</sup>

“35 – Ahora, al hacer alguna cosa los aurífices, necesitan arena fina. Después que la han conseguido, la muelen, la remuelen, y también la mezclan con pegamento”.

“36 – Luego la extienden en la misma forma que extienden el lodo, para que en ella salga, en ella se imprima cualquier cosa que han de hacer”.

“37 – En dos días se seca; cuando se ha secado bien, con un fragmento de tiesto se raya, se raspa, se restrega; con ello queda lista la superficie. En seguida se traza el grabado con un punzón de metal, como en otro lugar se ha declarado”.

“38 - Como en dos o tres días queda acabado, compuesto y perfeccionado el artefacto. Cuando se ha terminado, se pone encima polvo de carbón en agua, y con pegamento se fija el carbón a la superficie”.



“39 – Tras eso, luego se hierva la cera, se le mezcla incienso blanco de la tierra (e.d. copal), como se declaró”.

“40 – Cuando se ha enfriado y está purificada, luego se adelgaza en una laja con un rodillo de palo, que se hace rodar sobre ella. En seguida se le aplica encima una capa de lodo, con la cuál se moldea el oro (al fundirse), en figura de cualquier objeto que se ha de hacerse, sea un jarro o un sahumero, que se llama “perfumador”.

“41 – Al pintar y disponer una buena pintura principalmente es muy apta la cera; esto principalmente lo hace el pintor artístico, con esto se hace la obra de arte, pues principalmente primero se hace el molde de cera”. Figura 15.



Fig. 15. Lámina 55 del Códice Florentino.

“42 – Cuando se ha preparado todo, en ella se aprieta el molde, pues en él se halla la impresión de cualquier artificio vgr, un ala, una cola de pájaro, o una flor, o una rama de planta, o cualquier cosa de hermoso aspecto”. Figura 16.

“43 – Se va apretando, se va pegando con un palito que llaman punzón de palo”.

“44 – Como en dos días se ajusta, se compone. Cuando se ha ajustado, por todas partes se le pega cera, para extender luego en la superficie polvo de carbón en agua”.

“45 – Cuando se ha secado, es precisamente cuando se pone las tapas, de puro carbón basto, con



Fig. 16 – Lámina 56 del Códice Florentino.

lo cual se reviste totalmente el molde. Como en dos días se seca”.

“46 – Luego se pone en la cera el llamado tubo de contacto, es cilíndrico, primeramente se redondea: este es el contacto por donde ha de entrar el oro”.

“47 – Puesto el tubo, se van poniendo los crisoles en que se ha de derretir el oro”.

“48 – Cuando todo está listo, como va dicho, luego se pone al fuego, se calienta totalmente: allí sale, arde la cera que se halla adentro, la que se había puesto.

“49 – Cuando se fue la cera, cuando ardió, luego se enfría: es entonces cuando se coloca en la arena burda”.

“50 – Es cuando al fin, se funde, entra al crisol, se pone en el carbón, y el oro que allí entra por otro lado en un cucharón se derrite. Allí acaba todo esto, con esto queda hecha la obra”.

Posiblemente sólo en los libros especializados en fundición podemos encontrar explicación más clara de la manera de fabricar el molde y de hacer el vaciado de la pieza. La explicación de Sahagún, tan prolija, se debe a que si en alguna técnica los indios mesoamericanos fueron maestros, fue en esta técnica de fundición a la cera perdida.

No hay ninguna duda de que este procedimiento fue empleado para hacer la mayoría de las piezas de





oro, plata y cobre. En los cascabeles rescatados del Cenote Sagrado de Chichén Itzá, que conserva el Museo Nacional de Antropología e Historia de la ciudad de México, hay alrededor de 100 de ellos que conservan todavía el núcleo de carbón de fundición. Entre dichos cascabeles, hay uno que tiene como golpeador (clapper) otro cascabel más pequeño (34). La única manera en que este cascabel más pequeño pudo ser introducido en el mayor sin deformar este último es habiéndolo encerrado en el núcleo sobre el que se talló el cascabel más grande. De más de 200 cascabeles provenientes del Cenote Sagrado que conservan sus núcleos en forma completa o parcial, no hemos encontrado ninguno con núcleo de arena, sino que todos tienen núcleo de carbón.

Ha sido sugerido por varios autores que para fijar el núcleo sería necesario haber puesto separadores. Desde el punto de vista metalúrgico esto no es necesario, y si se hubiera hecho se vería sobre la superficie de las piezas el sitio en que pusieron los separadores. A pesar de que hemos estudiado los defectos de fundición de todos los Cascabeles del Cenote, los cuales mantienen la superficie de fundición original, no hemos podido detectar el empleo de tal técnica.

Muchas de las piezas que parecen haber sido elaboradas por la técnica de la filigrana fueron hechas, en realidad, con la técnica de la cera perdida

## RECAPITULANDO

Tal vez valga la pena recapitular las técnicas metalúrgicas que son propias de las culturas del Nuevo Mundo y en particular, en Mesoamérica.

1) Los mesoamericanos no sólo fundían y martillaban los metales nativos, sino que sabían obtener metales a partir de sus minerales.

2) Estos minerales no se recogían al azar, sino que los indios tenían sus propias minas que trabajaban a tajo abierto o en galerías.

3) Los metales que sabían obtener era oro, plata, cobre, estaño y plomo. Además en Colombia se utilizaba el platino, metal desconocido por los europeos hasta mediados del siglo XIX.

4) Las aleaciones binarias que sabían elaborar fueron bronce al estaño (Cu-Sn) bronce al arsénico (Cu-As), bronce al antimonio (Cu-Sb), bronce de plata (Cu-Ag), cobres al plomo (Cu-Pb) y latones (Cu-Zn), mientras que las aleaciones ternarias que elaboraban eran tumbagas (Au-Ag-Cu), bronce complejos (Cu-Sn-As) y (Cu-Ag-Pb).

5) Algunas de las aleaciones anteriores, tales como los bronce al arsénico, indican que no sólo reducían carbonatos, sino que también sabían reducir los sulfuros.

6) Algunas de las aleaciones anteriores se conocieron y utilizaron ampliamente en América Prehispánica, mucho más que en otros continentes.

7) También la técnica de coloración de las tumbagas, que es distinta en Sudamérica y en Mesoamérica fueron descubrimientos, aparentemente independientes, de los indios americanos.

8) Si bien la técnica de fundición a la cera perdida no es una técnica puramente americana, la elaboración del molde que describimos aquí se puede considerar un desarrollo autóctono.

9) Una extensión de esta técnica fue la elaboración de la pseudo filigrana.

10) La soldadura también es una técnica autóctona, similar a la técnica moderna del "furnace brazing".

11) La técnica de martillado, recorte y posterior decoración fue muy popular entre las culturas metalúrgicas que florecieron en el Occidente de México y en el Perú, mientras que las culturas del oriente de México y en Colombia la mayoría de las piezas son fabricadas por fundición.

## REFERENCIAS

21. D.M.K. de Grinberg (1987). "Metalurgia Prehispánica Tarasca. II – Tipos de Aleaciones y Técnicas de Elaboración". *Memoirs of the IX Inter-American Conference on Materials Technology*, Santiago de Chile, Oct. (1987), pp. 57
22. Walter Raleigh (1595), "The discovery of the large, rich and beautiful empire of Guiana, with a relation of the great and golden city of Manoa (which the Spaniards call El Dorado) performed in the year 1595". Ed. Sir Robert Schomburgh, Hakluyt Soc. Serie I, 3, Londres, Inglaterra, (1848)
23. D.M.K. de Grinberg y F. Franco (1990). "Toniná-Temporada 1979-1980: Objetos de Metal". En: Bequelin y Baudez, "Toniná. Une cité maya de Chiapas". 4 pp. 1828 y 2031. Ed. Mission Arqueologique et Ethnologique Française au Mexique, México, (1990)
24. G. Fernández de Oviedo y Valdéz (1535), "Historia General y Natural de las Indias, Islas y Tierra-firme del Mar Océano". Ed. Imprenta de la Real Academia de la Historia, Madrid, (1851), Libro XVII, Cap. 11, pp 516. Cap. 12, pp 520
25. F. Martínez Cortés (1974), "Pegamentos, gomas y resinas en el México Prehispánico". Ed. Setentas, N° 124, Secretaría de Educación Pública, México, (1974)
26. B. de Sahagún (1570-1582), "Historia General de las Cosas de la Nueva España". Ed. Porrúa., 3, Cap. XV,(1969) pp 70
27. B. de Sahagún (1570-1582), Op. Cit. 3, Cap. XV, pp 70 parágrafo 32) a 34)
28. B. de Sahagún (1570-1582), Op. Cit. 3, pp 69, parágrafo 21)
29. B. de Sahagún (1570-1582), Op. Cit. Vol. 3, pp 67-69, parágrafos 1) a 21)
30. R.F. Tylecote (1979), "A History of Metallurgy". Ed. The Metals Society, Londres, Inglaterra, (1979)
31. P.Rivet y H. Arsandaux (1946), "La métallurgie en Amerique précolombienne". *Travaux et Memoirs del Institute d'Ethnologie*, XXXIX, Paris, pp. 37
32. J. Ramírez, G. Salas, M.E. Noguez y T. Robert (1992), "El método de cera perdida usado por los mesoamericanos". Presentado al 27° Congreso Mexicano de Química Pura y Aplicada. Pto. Vallarta, Jalisco, 9-13 de Noviembre de (1992)
33. B. de Sahagún (1570-1582), Op. Cit. 3, pp. 70
34. Andrea Grinberg (1975), Comunicación personal, México, (1975)

