



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ARTES PLASTICAS

**"DESCRIPCION DEL PROCESO
A LA CERA PERDIDA EN LA ESCULTURA
EN BRONCE DE PEQUEÑAS DIMENSIONES".**

TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER
EL TITULO DE LICENCIADO EN ARTES VISUALES PRESENTA:

RAFAEL ARMENTA IGLESIAS

DIRECTOR DE TESIS:

***MAESTRO EN ARTES VISUALES
JORGE CHUEY SALAZAR***

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO D.F. 1997



DEPTO. DE ASESORIA
PARA LA TUTELACION
ESCUELA NACIONAL
DE ARTES PLASTICAS
XOCHIMILCO D.F.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

AGRADEZCO A MIS GUIAS Y MAESTROS

**FLORIDA ROSAS
ALFIA LEYVA
EVENCIA MADRID
OCTAVIO GOMEZ
JORGE CHUEY**

POR SU COMPRENSION Y PACIENCIA

QUIERO AGRADECER ESPECIALMENTE A LA

DRA. DORA MARIA K. DE GRIMBERG,

POR SU TRATO CALIDO Y AMABLE, QUE CARACTERIZA A LOS
LATINOAMERICANOS Y A LA MAESTRA ANA MARGARITA JEREZ, QUIEN SE
INTRODUJO EN EL TEXTO E HIZO VALIOSAS OBSERVACIONES.

DEDICATORIA

A MI MADRE,
QUIEN SIN SABERLO ME ACERCO AL TERRENO DE LA CREATIVIDAD.

A MIS HIJAS
ARACELI Y ADRIANA.

INDICE

	PAG.
INTRODUCCION	I
CAPITULO I <i>ANTECEDENTE HISTORICO</i>	1
CAPITULO II <i>MODELADO</i>	7
CAPITULO III <i>OBTENCION DE MOLDES</i>	11
CAPITULO IV <i>OBTENCION DE REPRODUCCIONES EN CERA</i>	19
CAPITULO V <i>COLOCACION DE BARRAS DE CERA O COLADAS</i>	24
CAPITULO VI <i>OBTENCION DEL MOLDE DE FUNDICION</i>	27
CAPITULO VII <i>HORNEADO DEL MOLDE DE FUNDICION</i>	31
CAPITULO VIII <i>COLADO DEL METAL</i>	35
CAPITULO IX <i>DESBARDADO</i>	43
CAPITULO X <i>PATINADO</i>	48
CONCLUSIONES	52
BIBLIOGRAFIA	54

INTRODUCCION

El procedimiento a la cera perdida es una técnica de producción muy antigua, que en la actualidad, a pesar de que se dispone de una amplia gama de materiales sobre todo plásticos, no ha dejado de practicarse, debido quizá a que no hemos olvidado el efecto tan cautivador que proporciona el contraste entre el brillo metálico de color amarillo y la coloración química obtenida sobre la superficie del objeto estético. Está por demás señalar, que este impresionante efecto es una propiedad exclusiva, de las aleaciones de cobre-estaño. Es importante apuntar que esta característica tan especial ofrece al productor plástico un significativo vehículo de expresión, que refuerza la forma por el concebida. La descripción del proceso a la cera perdida en la escultura en bronce de pequeñas dimensiones, comprende una secuencia de pasos con miras a obtener una reproducción en metal, de una forma cualquiera, previamente modelada en material maleable, de uso corriente en los talleres de modelado como la plastilina, el barro o la cera. Esto se logra vertiendo o colando dicho metal en estado líquido en un molde refractario cuyas paredes interiores han tomado a la manera de una impresión, la forma invertida de un modelo de material fusible como la cera. Este modelo se evapora al someter el molde refractario que lo contiene, a la acción del intenso calor, lo que tiene como consecuencia, el desalojo del material fusible, dejando una cavidad que será ocupada por la aleación fundida. Cuando el líquido metálico pierde calor, este se solidifica, reteniendo de esta manera la forma de las paredes que la contuvieron, es así que podemos conservar la forma del modelo que se desee. El presente es un trabajo que describe este proceso, efectuado en los talleres de fundición artística, así como los métodos habituales de soldadura y corte utilizados en estos, y los procedimientos mas frecuentes en el patinado o coloración de las piezas escultóricas realizadas por fundición.

Se empieza por el antecedente histórico, como capítulo I, donde se expone parte del desarrollo tecnológico de la humanidad, destacando el descubrimiento de los metales así como su uso desde el momento en que son encontrados por el hombre primitivo, repasando el proceso que ha tenido que ocurrir para obtener dichos metales a partir de otras fuentes distintas a la de los ríos, como los minerales, lo que implica un estadio superior en la escala tecnológica, que proyecta a la humanidad de la simple recolección de metales en estado nativo, a la obtención de los mismos por medio de procesos metalúrgicos.

El capítulo II trata del modelado, que es el trabajo que se realiza sobre una materia plástica como el barro, la plastilina, la cera o el yeso y que dará corporeidad a una forma cualquiera, imaginada por el productor plástico. Se describe la estructura de alambre o esqueleto que da sustento al material para modelar y que puede ser cualquiera de los antes mencionados. Se expone el trabajo de la aplicación de la plastilina sobre la estructura y se indica la técnica para que el material se adhiera a dicha estructura.

Se señalan las ventajas y desventajas en el uso del barro plástico, que en este caso tiene poca aplicación por lo reducido de las dimensiones de la figura del caballo que hemos escogido como ejemplo para explicar el presente trabajo. En este mismo capítulo, se hace referencia a la posibilidad de trabajar a la cera directa, esto es que se hacen preparaciones de cera que permiten su manipulación, como si se trabajara con plastilina y se dan detalles para efectuar los modelados con esta técnica que debe su nombre a que el modelado pasa directamente al molde de fundición.

En el capítulo III, referente a la obtención de moldes, se describe la manera de hacer el molde a la figura del caballo con miras a obtener reproducciones en cera. Se parte del hecho de que el modelado se ha efectuado en plastilina y se ha determinado que el molde se hará en dos partes. En este capítulo se hace hincapié en el estudio de

la figura modelada, a fin de determinar la línea de partición, que es la trayectoria que debe seguir la inserción de las laminillas metálicas o taseles así como la importancia de ubicar un tubo, que dará forma a un canal para la introducción de la cera fundida en el molde y su desalojo. Se hace mención de los materiales usados antiguamente para obtener la impresión topográfica de una forma por lo que se habla de la cola para carpintero, la grenetina y de materiales mas recientes como el látex, el caucho sintético o butadieno y sobretodo se hace referencia al silicón.

Además de que se relata la manera de efectuar el molde flexible con este material y su refuerzo, se describe el procedimiento para efectuar el caparazón que mantiene rígido al silicón, este caparazón se hace de plástico poliéster reforzado con fibra de vidrio, para lo cual se da una descripción del uso y características de éstos materiales tan usados en escultura.

En éste mismo capítulo, se habla del uso del yeso como alternativa para hacer el caparazón y se describen las diferencias entre un caparazón de plástico reforzado y uno de yeso, así como la manera de efectuar éste último.

En el capítulo IV titulado obtención de reproducciones en cera se hace referencia a la manera de hacer las reproducciones en cera que deben ser huecas y proceden del molde, lo que se logra con baños sucesivos de cera fundida hasta lograr el espesor necesario en las paredes internas de la reproducción.

Aquí se describe la manera de preparar la cera para el modelado denominado "cera directa" y se mencionan las características de las ceras naturales y las ceras artificiales.

También se trata el asunto del retoque de la reproducción y de la posibilidad de hacer agregados de cera así como texturas, se describe como se perfora la reproducción ya retocada, para que pueda penetrar el material refractario al interior de la pieza y de forma al corazón o núcleo de la figura. A demás de las perforaciones, se indica cómo y en que lugares se deben insertar los

alambres que soportarán el corazón cuando la cera ha sido desalojada. En general en este capítulo, se describe la manera de obtener, retocar y preparar la reproducción de cera, para pasar a la siguiente etapa, la colocación de coladas.

En el capítulo V denominado colocación de barras de cera o coladas, se describe la manera de fabricar las barras de cera que se van a adherir a la reproducción de cera ya retocada, se hace referencia, a que estas barras de cera son de capital importancia, puesto que van a servir como un sistema hidráulico de irrigación de metal fundido y simultáneamente como chimeneas para sacar al exterior los gases y el aire desplazado al llenarse el molde de fundición con metal en estado líquido.

Se hace énfasis en que la reproducción de cera debe ser cuidadosamente analizada, con objeto de determinar la posición en que va a ser sumergida en el material refractario, para que de esta decisión, dependa la colocación del canal principal o bebedero, que es una barra de cera por lo general mas gruesa que las demás, que sirve para conducir el metal fundido, desde la cavidad de vertido, hasta el interior del molde de fundición. Se menciona que es de gran importancia el bebedero, puesto que de su posición, partirán las ramificaciones de coladas, que llevarán el metal hasta los lugares más intrincados de la pieza. Este bebedero se suelda por uno de sus extremos a la pieza de cera y por el extremo opuesto se suelda a la base de un vaso de poliestireno expandido, el cual dará forma a la cavidad de vertido que es el orificio por donde entra el metal fundido, conocido vulgarmente como "coladón".

Aquí se describe además, la manera de hacer la colocación de las barras para los "aires", que serán los canales que parten de la pieza al exterior del molde de fundición y que tienen la importante función de chimeneas.

En el capítulo VI titulado obtención del molde de fundición, se describen los pasos a seguir para la elaboración del molde que va a recibir el metal fundido y en cuyo interior se

encuentra la forma de la figura que se va a vaciar en bronce. Se relata la manera de efectuar dicho molde así como los materiales empleados en su elaboración. Se hace referencia a los terminos vulgares utilizados en los talleres de fundición artística como el "picadizo" que es la mezcla refractaria de que se compone el molde de fundición. En este capítulo se hace énfasis en la importancia de lograr un molde de fundición lo suficientemente consistente, para soportar el calor del horneado, sin que se fisure y paralelamente, adquirir una buena condición de porosidad, capaz de absorber los gases, al momento del vertido del metal fundido.

Se indica además, la manera de incluir un material de refuerzo a la mezcla refractaria, que imparte resistencia al molde de fundición, como la fibra de vidrio o la tela de alambre para gallinero.

En el capítulo VII que lleva por titulo horneado del molde de fundición, se describe la manera de exponer al calor el cilindro de material refractario, con la intención de evaporar por completo la cera que contiene y adquiriera este, las propiedades de porosidad y resistencia necesarias para recibir el metal fundido.

Se dan detalles de como se construye el horno para la "quema de cera" que es el termino vulgar usado en los talleres de fundición para referirse al acto de eliminar la cera y que da nombre al proceso que es el de "cera perdida". Se hace particular énfasis en la distribución de calor, lo que se logra poniendo extremo cuidado en la construcción del horno que debe cumplir la condición de establecer una espiral ascendente de la flama que proporciona un mechero de gas, usado en el horneado del molde de fundición. En este capítulo se comenta la manera de saber cuando el molde de fundición ha expulsado totalmente la cera que contenia, se recalca la importancia del manejo del molde despues de su hornedo, para evitar el choque térmico o cambio brusco de temperatura que es una de las principales contingencias por evitar.

Asi mismo, se indican todas las características nuevas que ha adquirido el molde después de su horneado, como la capacidad de absorción o permeabilidad, condición necesaria para poder recibir el metal en estado líquido. En general se apuntan todas las precauciones y cuidados necesarios para el manejo y traslado del molde de fundición después de su horneado.

El capítulo VIII denominado colado del metal, hace referencia a los preparativos para el vaciado del bronce y empieza por describir el "apisonado" o "apretado" del molde de fundición horneado, labor necesaria para evitar que el molde se fisure por la presión ejercida al momento de la penetración del metal en estado líquido, que consiste en rodear el molde con tierra húmeda para su posterior compactación. En este capítulo se describe el "horno de foso", su funcionamiento asi como los implementos con los que se asocia para la fusión de la aleación, también se habla de los combustibles comunmente usados. Se da importancia a la selección de chatarra de bronce, pues de este material de desperdicio procede fundamentalmente el metal para uso en escultura, también se mencionan las condiciones necesarias para la fusión del bronce, el uso de fundentes y sus efectos, las capas protectoras para el metal en estado de fusión y en general a los cuidados y precauciones en fundición. En este capítulo se habla de los defectos mas frecuentes en las piezas de fundición debidos a el mal manejo tanto del molde de fundición como de las contingencias inherentes al proceso.

En el capítulo IX que lleva por nombre desbarbado, se describe el trabajo de demolición del molde de fundición después de vertido el metal líquido, pero fundamentalmente se centra a la labor de corte de coladas y repaso de la superficie de la pieza de bronce por medio del cincelado, así como el limado y baño de ácido o "decapado".

En el "desbarbado" está incluido en general todo el trabajo de corte de rebabas o "cortinas" de bronce que son defectos inherentes a la fundición. Se habla de las costras de escoria y su

origen así como las irregularidades que presentan frecuentemente las piezas fundidas. Aquí se habla de los métodos de soldadura usados frecuentemente en los talleres de fundición con objeto de subsanar imperfecciones en el trabajo obtenido. Además se explican los diferentes efectos producidos sobre la superficie del bronce y de los diferentes ácidos usados como "decapadores". Aquí también se indica la manera de efectuar las perforaciones y roscado para sujetar la pieza de bronce a la base de mármol u otro material.

En el capítulo X que lleva por nombre "patinado" se expone el último paso del proceso de producción de la escultura y que es de vital importancia, pues trata de los procedimientos más usuales para colorear el bronce. Aquí se hace referencia, a la característica que poseen las aleaciones de cobre-estaño y cobre-cinc, de adquirir una amplia gama cromática tal como el negro, azul, café, rojo, anaranjado, amarillo, violeta, verde, etc. como resultado de la formación de diferentes compuestos químicos que se depositan en la pieza de bronce, tales compuestos pueden ser: cloruros, sulfuros, óxidos, carbonatos, etc. y tienen su origen en el elemento metálico principal que integra la aleación, el cobre.

Se describe el procedimiento para obtener las coloraciones como el verde que se produce por la aplicación de una solución de nitrato de cobre, se dan también, las alternativas para cambiar el compuesto original a azul o negro por la transformación química del nitrato cúprico a hidróxido de cobre u óxido cúprico respectivamente.

Se señala el riesgo de trabajar con reactivos químicos y se recomienda tomar precauciones, aquí se hace hincapié, en la necesidad de aplicar películas protectoras a los colores obtenidos en el bronce, para evitar su posterior transformación, se recalca por último, que toda coloración sobre la escultura de bronce, debe ser el producto de una reacción química, ya sea por exposición a los

agentes atmosféricos o intencionada, pero jamás por la aplicación de una capa de pintura.

CAPITULO I ANTECEDENTE HISTORICO



Cuando la materia orgánica es atrapada y encapsulada en terrenos arcillosos ocurre un fenómeno muy interesante, el proceso de descomposición de los residuos orgánicos se efectúa en el seno de la masa arcillosa. Al paso del tiempo estos residuos se degradan y pulverizan, dando origen a una cámara cerrada, cuyas paredes han tomado la forma en negativo, de la materia contenida ahí en otro tiempo, ésta cámara se llena con minerales disueltos en agua, proporcionada por la precipitación pluvial y llegan hasta ella por filtración, donde se acumulan dichas soluciones y se efectúa la solidificación de los compuestos minerales, dando forma a auténticas piedras, que ocupan el espacio que en otro momento ocupaba la materia orgánica. El resultado de este fenómeno es una reproducción de la forma en material calcáreo llamado fósil.¹ Indudablemente este proceso es efectuado por la Naturaleza en millones de años, esto es lo que da trascendencia reflexionar acerca de la coincidencia de este fenómeno con una técnica de producción similar al proceso de fosilización, desarrollado por el hombre, sin que este haya tenido conocimiento de dicho proceso efectuado naturalmente. Es de suponer que los períodos de tiempo extraordinariamente largos, necesarios para la fosilización, no puede vivirlos una generación de humanos para observar el fenómeno, también es de suponer que aún cuando pudo encontrar fósiles aquel no poseía los conocimientos necesarios para explicarse el origen de estos. Todavía hoy, la explicación de dichos fósiles, es una consecuencia, lógica a la que se llega por el cúmulo de conocimientos científicos que hoy posee la humanidad. Este cúmulo de información científica es el producto de miles de años de experiencias que derivan de la lucha incesante del hombre, contra la Naturaleza, no por destruirla, sino por dominarla, por apropiarse de los elementos que ella posee, con el propósito de procurarse satisfactores, que le han permitido

hacer su propia existencia menos difícil, de manera que en el transcurso de su historia, la raza humana ha desarrollado innumerables formas de disponer para sí dichos elementos, de tal suerte, que la necesidad de subsistencia, asociada a su curiosidad natural, esta fue capaz de transformar la Naturaleza con su fuerza de trabajo, lo que le permitió acumular experiencias y conocimientos, que al paso del tiempo y la práctica continua se han convertido en una tecnología, de modo que simultáneamente el trabajo y la Naturaleza han dado origen a la Humanidad como hoy la conocemos. Las primeras herramientas que el hombre utilizó fueron de piedra debido a que este material es el que más abunda sobre la corteza terrestre; también usó herramientas de madera, así como de hueso proveniente de los animales que cazaba.

La fabricación de herramientas de piedra permitió al hombre primitivo el conocimiento de diferentes tipos de piedras, así como la habilidad para lograr planos de corte sobre estas, por medio de presiones ejercidas por el impacto de unas con otras, para obtener aristas agudas (lascado).² La búsqueda de guijarros, por tanto debió ser una actividad cotidiana para el hombre de aquel tiempo, y esta ocupación lo puso en contacto con otros materiales como el metal, que era factible encontrar principalmente en el fondo de los ríos, pues el torrente fluvial los arrastra hasta allí y debido a su densidad se depositan en el lecho de los mismos. Los elementos metálicos son muy escasos en estado nativo,³ es decir, es difícil que conserven su apariencia y características que los definen como tales, estas particularidades son a primera vista, su peculiar brillo, lo que seguramente atrajo la atención del hombre primitivo, su densidad, pesa mas que otros materiales, su conductividad térmica, etc.

1 PERICOT, L. LA HUMANIDAD PREHISTORICA
ED. SALVAT S.A. ESPAÑA 1982 PAG. 13

2 DE GRIMBERG, D.M.K. LOS SEÑORES DEL METAL
ED. PANGEE MEXICO 1990 PAG. 11

3 IDEM PAG. 12



Los metales que conoció primero el hombre son el oro, la plata, el cobre y el platino,⁴ por ser estos los que se encuentran libres en la Naturaleza, el cobre es mas escaso en este estado, sin embargo es posible localizarlo libre de combinaciones con otros elementos. La habilidad desarrollada, para trabajar la piedra; esto es la lítica, permitió observar que los elementos metálicos podían ser aplastados y tomar forma de lámina.⁵ Debido a su escasez y su relativa blandura, solo se usaron como adorno, esto implica que aprendió a trabajar el metal fundamentalmente como forja, pues pudo comprobar que al aplastar la masa metálica se endurecía, y que recuperaba su maleabilidad al calentarla. Sin embargo el Hombre tuvo contacto con otros metales sin saber que lo eran, pues se encuentran en combinación química con otros elementos, tal es el caso del óxido férrico muy abundante en la Naturaleza. Su uso fue común por el Hombre primitivo, para pintarse el cuerpo en los ritos mágico-religiosos, así como en la pintura de las cavernas igualmente vinculada a la magia. Esta combinación del hierro con el oxígeno, es frecuente encontrarla mezclada con un tipo de arcilla, y entonces toma un color amarillo seco, que hoy conocemos como ocre.

Al óxido férrico lo conocemos actualmente por varias denominaciones como son. "colcotar", "minio de hierro", "oligisto", "rojo óxido", "rojo indio", "rojo inglés",⁶ etc. Mucho tiempo debió transcurrir para que el hombre pudiera obtener metal de otras fuentes distintas a los ríos; como ya se mencionó antes, la colecta de piedras abrió la posibilidad de observar que un tipo especial de guijarro, de apariencia cristalina y hermoso color verde-azul, se transformaba al exponerse al intenso calor de las brasas de las fogatas, de modo que entre las cenizas se encontraba un glóbulo de

característico brillo metálico color rojo. Esta es la manera en que obtuvo cobre a partir de la reducción⁷ de los minerales del mismo, pues en la Naturaleza el mayor número de metales se encuentran combinados químicamente con el oxígeno, el azufre, el cloro, el carbono, etc., dando origen a los óxidos, los sulfuros, los cloruros, los carbonatos. Estos compuestos son mas estables que los elementos de donde provienen.⁸ Poseen además, colores muy atractivos, circunstancia que no pasó inadvertida para el hombre, pues el ojo humano es sensible y capta una amplia gama de longitudes de onda por lo que esta actitud, proclive hacia el color fue determinante en el proceso de conocer los materiales que le rodeaban. En el caso del cobre, los óxidos del mismo son de color negro óxido cúprico, ó rojo óxido cuproso; el sulfuro de cobre es pardo oscuro; el cloruro de cobre, café rojizo, y los carbonatos de cobre son verdes y azules, éstos últimos constituyen los minerales llamados "malaquita" y "azurita" respectivamente.⁹ Hoy sabemos que si calentamos fuertemente en un crisol una mezcla de carbonato de cobre, con carbón de madera, éste último reduce al carbonato desprendiéndose gases carbónicos dejando libre al elemento metálico cobre, este proceso químico se llama reducción. La reducción de los minerales de cobre es un procedimiento para obtener cobre¹⁰ relativamente sencillo; sin embargo sólo puede practicarse sobre los óxidos y carbonatos. Los depósitos de minerales se llaman vetas. En el caso de los minerales de cobre, por lo general el elemento metálico se encuentra combinado con el azufre y el hierro, formando un compuesto doble de sulfuro de cobre y sulfuro de hierro, ambos dan origen al mineral llamado "calcopirita".¹¹ Cuando la veta de mineral asoma a la superficie de la tierra, los agentes atmosféricos actúan sobre el mineral, transformando el

4 DUPONCHELLE, MANUAL DEL FUNDIDOR DE METALES
ED. GUSTAVO GILLI S.A. BARCELONA 1960 PAG. 1

5 OP. CIT. LOS SEÑORES DEL METAL... PAG. 15

6 POSTIGO, L. QUIMICA GENERAL APLICADA
ED. SODENA S.A. MEXICO 1968 PAG. 592

7 OP. CIT. LOS SEÑORES DEL METAL... PAG. 18

8 IDEM PAG. 18

9 IDEM PAG. 19

10 IDEM PAG. 19

11 IDEM PAG. 19



compuesto original en óxidos y carbonatos de cobre. De estos compuestos, el hombre aprendió primeramente a obtener cobre por el método de reducción, como ya se dijo; sin embargo los óxidos y carbonatos de cobre pronto se agotarían y fue necesario desarrollar una técnica para obtener cobre a partir de los sulfuros del mismo. este es un proceso mas complicado, que consiste en someter al calor repetidas veces los compuestos sulfurados, con el objeto de eliminar paulatinamente los elementos indeseables con los que se encuentra combinado. Es así que a la primer tostación los minerales de cobre, se liberan parcialmente del azufre, ya que se desprende en forma de anhídrido sulfuroso, posteriormente se adiciona sílice y se expone a una fuerte calcinación, donde la sílice se combina con los residuos de sulfuro de hierro, formando un silicato de hierro, que es un compuesto fusible, por lo que se puede separar del conjunto en forma de escoria. así se produce lo que en metalurgia se conoce como "mata cobriza" que es una masa con un alto contenido de cobre.¹² De esta manera el hombre podía disponer de un elemento mas, aunque de uso limitado debido a su poca dureza ya que no podía competir con la dureza de los instrumentos líticos, esta es la razón por la que las herramientas de piedra no fueron desplazadas por las de metal, a pesar de que ya se poseían conocimientos metalúrgicos. Sin embargo el trabajo del cobre dio la posibilidad de elaborar agujas, anzuelos, pequeñas dagas y sobre todo puntas de flecha,¹³ pues estos proyectiles tenían un uso cotidiano en la vida del hombre de aquel tiempo. En un principio estos instrumentos de caza eran reproducciones de puntas de flecha talladas en algún cristal natural como la obsidiana, lo que se hacía imprimiendo ésta en arcilla plástica, hasta la mitad, y se dejaba secar esta primera impresión, posteriormente se efectuaba una segunda

impresión de la otra mitad de la punta de flecha, de manera que esta se encontrara encapsulada o emparedada entre la masa seca de la primera impresión y la masa húmeda de la segunda. Cuando el conjunto estaba bien seco se abría el molde con sumo cuidado, insertando en la junta una espátula de madera, y se retiraba la punta de flecha de obsidiana. De esta forma se obtenía un molde de fundición en dos partes, posteriormente se hacía en una de las dos partes un canal que llegaba del exterior, hasta la cavidad dejada por el modelo de obsidiana. Acto seguido, se unían las dos partes que conformaban el molde y se ataban fuertemente, y por el orificio del canal se vertía el metal fundido. Cuando el metal se había enfriado, se abría el molde y se extraía la pieza metálica. También se usaban moldes de piedra en dos partes con la variante de que se tallaba directamente la punta de flecha sobre cada una de las dos partes. Los crisoles se hacían de una mezcla de polvo de carbón y alguna arcilla, para transportar el crisol caliente, se usaban dos ramas verdes de árbol, el combustible usado era el carbón de madera avivado con aire proveniente de fuelles.¹⁴ La recuperación de cobre a partir de sus menas oxidadas y las menas sulfuradas permitió conocer otros elementos metálicos como el estaño, y dar un gran paso en el desarrollo tecnológico, pues el hombre pudo observar un fenómeno curioso, cuando un metal que posee un punto de fusión alto, es mezclado con otro metal que tiene un punto de fusión bajo, ambos metales forman una masa que adquiere características especiales que no poseen dichos metales por separado, esta mezcla de metales se llama aleación.¹⁵ La característica principal de la aleación de cobre-estaño, donde el cobre tiene un punto de fusión de 1083 °C y el estaño de 231.5 °C, es la de que esta solución de un metal en otro funde a los 900 °C, sin olvidar que

12 OP. CIT. QUÍMICA GENERAL APLICADA... PAG. 554

13 HOWARD, F.T. FUNDICIÓN PARA INGENIEROS
ED. COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL
MEXICO 1961 PAG. 12-13

14 KNAUTH, P. EL DESCUBRIMIENTO DE LOS METALES

ED. TIME LIFE INTERNATIONAL
UNITED STATES 1976 PAG. 14-15

15 OP. CIT. MANUAL DEL FUNDIDOR DE METALES PAG. 51



variando la proporción de cobre y estaño, se obtienen importantes características físicas como la dureza, propiedad tan importante, pues permitió ir desplazando las herramientas de piedra por bronce. El bronce podía fabricarse reduciendo una mezcla de carbonato de cobre¹⁶ con el mineral llamado "casiterita", que es bióxido de estaño o bien fundiendo primero cobre y adicionando el estaño, después de ser reducido del mineral ya mencionado. La fabricación de aleaciones, presupone el conocimiento del comportamiento de los metales en estado líquido, por lo que el hombre debió poseer amplia experiencia en metalurgia, que evitó el principal problema en las aleaciones, que es la pérdida del metal más fusible, por simple evaporación. Al extenderse el uso de la nueva aleación, se pudo disponer de instrumentos de labranza como hachas y azadones menos pesados que los de piedra por lo que la agricultura se benefició con esta gran aportación tecnológica, mejorando sustancialmente el nivel de vida.¹⁸ Los pueblos que poseían el conocimiento metalúrgico, se constituían en una potencia militar y económica, pues con el bronce se hicieron las armas más esbeltas y manuales, por tanto más mortíferas como las espadas y dagas pues el filo obtenido con el bronce era inigualable. El uso de este nuevo material metálico posibilitó una apropiación más efectiva de satisfactores, lo que permitió cierta abundancia o excedentes lo que estimulaba el intercambio con otras comunidades. La vida se hizo menos difícil, y la población aumentó. En fin, fueron posibles nuevas formas de organización como el establecimiento de las ciudades-estado. El inicio de la época histórica va acompañada del uso del bronce, en efecto, fue en Mesopotamia, donde el bronce, constituyó un material de uso cotidiano. Hacia 3000 a.C., se había desarrollado una tecnología para el trabajo del metal, pues se fabricaban armas

y herramientas con el sistema de la "cera perdida". Se ha señalado a los Hititas como el principal pueblo, poseedor de los conocimientos metalúrgicos, de modo que los investigadores sitúan geográficamente a la cuna de la metalurgia en la antigua Anatolia,¹⁹ lugar que hoy conocemos como Turquía hacia 7000 a.C., de ahí se extendió a otros pueblos por vía del comercio, las invasiones y sometimiento de otras culturas. Debido a que el estaño era un elemento que escaseaba cada vez más, su búsqueda obligó a algunos pueblos a recorrer distancias muy grandes, como es el caso de los Asirios, pueblo de viajeros y comerciantes que se hacían llegar desde el Mediterráneo hasta lo que hoy conocemos como Inglaterra, lugar de donde procedía el estaño por encontrarse ahí las minas más ricas. De aquellos tiempos, procede el nombre de la isla ubicada en el Mar Mediterráneo y que hoy conocemos como Chipre, que en lengua Griega significa "cobre",²⁰ pues de aquí se extraía ese metal tanpreciado, para la fabricación del bronce. Se dio una circunstancia especial, en el caso del hierro, este elemento lo conocía el hombre, probablemente de origen extraterrestre, pues las meteoritas están constituidas principalmente de una aleación de hierro y níquel, de ahí el nombre de "Siderium", que dieron los Romanos mucho tiempo después a este metal, sin embargo, los Hititas hacia el año 1400 a.C., ya hacían trabajos con él y se usaba principalmente como adorno. Su uso no se extendió debido a que los Hititas guardaban celosamente los secretos de cómo extraer este metal, quizá esta sea una de las razones por las que el uso del bronce se prolongó en algunos lugares como en Europa donde el hierro se conoció mucho tiempo después de que su uso se había generalizado en el Asia Menor.²¹

El uso de los metales en América constituye un caso aparte, pues a pesar de que el hombre

16 FERSMAN, A.E. GEOQUÍMICA RECREATIVA
ED. MIR MOSCÚ 1966 PAG. 191

17 OP. CIT. MANUAL DEL FUNDIDOR DE METALES... PAG. 52

18 OP. CIT. EL DESCUBRIMIENTO DE LOS METALES... PAG. 21

19 OP. CIT. LOS SEÑORES DEL METAL PAG. 19

20 GRIMBERG, C. EL ALBA DE LA CIVILIZACIÓN
ED. DAIMOND, MÉXICO 1983 PAG. 82

21 IDEM PAG. 80



primitivo americano conoció los metales de la misma manera que el hombre del viejo mundo, su uso aquí no se generalizó,²² esto sin embargo, no fue obstáculo para que el hombre americano alcanzara un grado de desarrollo que se hace manifiesto en la construcción de grandes ciudades, que revelan un nivel de organización social donde el cultivo de las artes y las ciencias constituía un acto de cotidianidad. Los naturales de América sabían trabajar los metales, que obtenían ya sea recogiéndolos en estado nativo, principalmente oro y plata o mediante la reducción de sus menas oxidadas,²³ cobre, sin embargo la barbarie Española, se encargó de ignorar los métodos y procedimientos utilizados por los habitantes de los lugares con tradición metalúrgica. Ante la posibilidad de disponer de una gran cantidad de

fuerza de trabajo y sin obstáculo alguno que les impidiera su apropiación, pues los reyes católicos de Castilla decretaron que los habitantes de los lugares recién descubiertos, quedaban bajo la protección del reino de España, como súbditos de la corona y por lo tanto gozarían de los mismos derechos que cualquier español, leyes que además, nunca se respetaron y empujados por su ambición, los Hispanos, rápidamente obligaron a la población indígena a trabajar gratuitamente y de manera inhumana e impusieron los métodos Europeos de extracción de minerales, sin importarles si los naturales tenían un método propio para beneficiar los productos de la Naturaleza.

Los investigadores han señalado, a la región comprendida entre Perú, Bolivia y parte de Argentina, como un centro metalúrgico muy importante, pues ahí se han encontrado evidencias muy antiguas del trabajo de los metales (800 a.C.), también se ha señalado a la región que hoy conocemos como Colombia, donde se extraía gran

cantidad de oro y sus habitantes sabían trabajar los metales.

En Mesoamérica existieron grupos humanos que poseían avanzados conocimientos tecnológicos, que funcionaron como civilizadores de otros pueblos como los Toltecas, quienes transmitieron a otros grupos las técnicas para trabajar los metales.

Indudablemente que hubo pueblos que se distinguieron por la maestría en el trabajo metalúrgico, como los Mixtecos y los Zapotecos, o el caso curioso de los Purépechas o Tarascos,²⁴ quienes a pesar de ser una cultura menos desarrollada que otros grupos étnicos, pues se encontraban en cierto estado arcaico,²⁵ poseían un conocimiento de la metalurgia más vasto que el de otros pueblos en el mismo momento. Se les ha asociado con otras culturas como los Incas, por las similitudes entre ellos en el lenguaje y costumbres, así como por su tradición metalúrgica.

Los Purépechas, se distinguieron fundamentalmente por la extracción del cobre,²⁶ que usaban para hacer pequeñas hachas, que servían como moneda o se usaban como objetos ceremoniales, que se introducían en la boca de las personas que fallecían, antes de enterrarlas, costumbre también practicada por otros grupos étnicos mesoamericanos.

Los metales en Mesoamérica se usaban principalmente para hacer objetos de ornato personal, como los bezotes o los aretes de cobre u oro; sin embargo también se hacían algunos instrumentos como las pinzas de plata para depilar y muchos instrumentos más como agujas, alambres, brazaletes, etc.

Los objetos metálicos que más abundan procedentes de aquellos tiempos, son los cascabeles de cobre,²⁷ éstos se usaban para

22 RIVET, D. LOS ORIGENES DEL HOMBRE AMERICANO
ED. FONDO DE CULTURA ECONOMICA
MEXICO 1960 PAG. 80

23 DE GRIMBERG, D.M.K. EL NACIMIENTO DE LA METALURGIA
ED. CIENCIA -34 67-75
MEXICO 1983 UAM PAG. 69

24 OP. CIT. LOS SEÑORES DEL METAL... PAG. 24, 25, 25, 27

25 MONTE FORTE, T.M. LAS PIEDRAS VIVAS
ESCULTURA Y SOCIEDAD EN MEXICO
ED. UNAM MEXICO 1979 PAG. 43

26 OP. CIT. LOS SEÑORES DEL METAL... PAG. 24, 25, 25, 27

27 IDEM PAG. 42



producir sonidos musicales, y se hacían por fundición con el método de la "cera perdida".

Los estudiosos han encontrado en el interior de algunos cascabeles, residuos de una mezcla de carbón de madera con arcilla, lo que permite suponer que de esta mezcla se hacía el "núcleo" o "corazón", sobre el cual se modelaba la cera directamente, agregando detalles y posteriormente se recubría el conjunto con más mezcla de carbón de madera y arcilla. La cera que se usaba para modelar, era la "cera de Campeche", que producen unas avispas americanas²⁸ y ésta se mezclaba con resina copal que a su vez, proviene de los árboles de coníferas. Cuando el recubrimiento se endurecía, se calentaba el conjunto para que la mezcla se evaporara y se vertía el metal fundido a través de un orificio dejado por una prolongación de cera, dirigida al exterior del conjunto. Cuando el metal se encontraba frío, se destruía el recubrimiento y se extraía el cascabel de cobre.²⁸

No se han encontrado los recipientes donde se fundía el metal, pero los investigadores suponen que la fusión se efectuaba, en un trozo de carbón de madera, al que se le practicaba una cavidad antes de encenderlo para contener el metal.²⁹ Esto es, que el carbón candente, servía a guisa de crisol. También hay evidencia de que para avivar el fuego, se usaban carrizos de barro cocido, por donde se soplaban aire con la boca, o bien se aprovechaban las laderas de las montañas donde las corrientes de aire se concentran. Evidentemente, el combustible usado sería el carbón de madera. Además de la técnica de la "cera perdida", los antiguos mexicanos, desarrollaron otras técnicas alternativas de fundición, como el caso de impregnar hilos de cáñamo con cera fundida y cuando ésta endurecía, se acomodaba cuidadosamente el hilo encerado sobre el "núcleo" de carbón y arcilla a la manera de una espiral, así hacían pequeñas tortugas, o los cascabeles antes mencionados, en cuya superficie, se apreciaba una textura como si fuera hecho de hilos metálicos.

Cuando los españoles vieron estos trabajos, creyeron que eran de filigrana, que es una técnica de joyería, que se caracteriza por el trabajo con hilos metálicos unidos con soldadura. Sin embargo, a pesar de que también conocían la técnica de la soldadura, los trabajos en metal, se hacían fundamentalmente por fundición, lo que implica un conocimiento más avanzado.³⁰

Esta técnica de incorporar otros elementos a la cera para lograr texturas y así enriquecer la calidad expresiva del material es una aportación prehispánica.

También se hacían vaciados de diferentes metales, de modo que en una misma pieza de fundición se encuentran partes de oro, plata y cobre.

En el análisis de escorias, encontradas en los lugares con tradición metalúrgica, como en Michoacán, se ha descubierto que los glóbulos de metal, adheridos a dichas escorias, están constituidos no solo de oro, plata, o cobre, sino que además había aleaciones de estos tres metales llamadas "tumbagas",³¹ así como bronce de estaño, y hasta bronce de arsénico.

Un aspecto importante y de interés por el tema que nos ocupa, es el de la coloración de metales, que los naturales de América practicaban, pues trataban las piezas metálicas después de fundidas, con jugos de plantas, para lograr oxidaciones y así dar color a las piezas. Hay la evidencia de que conocían tratamientos más complicados, como el de sumergir los objetos de aleaciones de oro-cobre en baños de alumbre fundido, lo que tenía como consecuencia, un ataque químico sobre la superficie de la aleación, que disolvía el cobre, dejando expuesto solo el oro.³²

28 OP. CIT. LOS SEÑORES DEL METAL... PAG. 20

29 IDEM PAG. 45, 46, 47

30 IDEM PAG. 42

31 IDEM PAG. 48

32 OP. CIT. EL DESCUBRIMIENTO DE LOS METALES PAG. 137

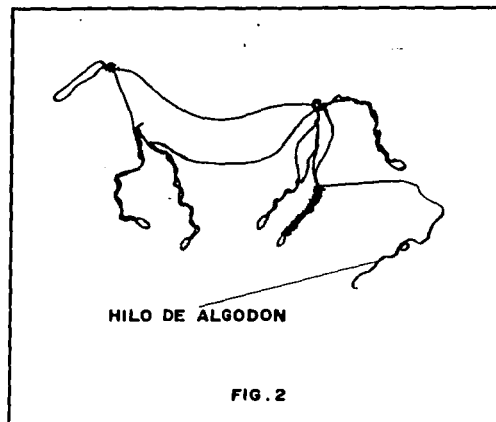
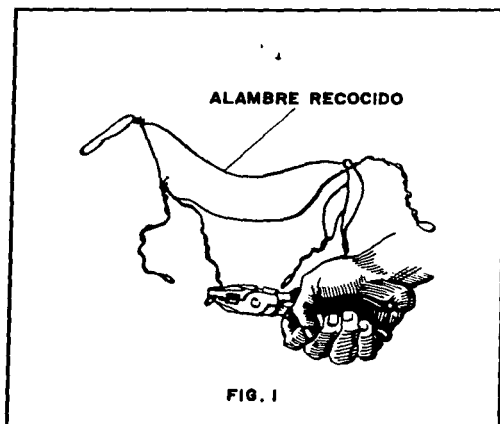
CAPITULO II MODELADO

Para aproximarnos al conocimiento del procedimiento a la "cera perdida" es necesario detenemos un poco en la técnica del modelado, y si bien, no es el objetivo principal del presente trabajo, el relatar dicha técnica, sí es parte importante del proceso que nos ocupa.

Se parte primeramente de elaborar la estructura que dará sustento al material para modelar, actuando como un sistema óseo. Para figuras pequeñas se usa normalmente la plastilina, pues ella responde satisfactoriamente a los estiques que son las herramientas necesarias para modelar, a pesar de que los detalles sean pequeños.

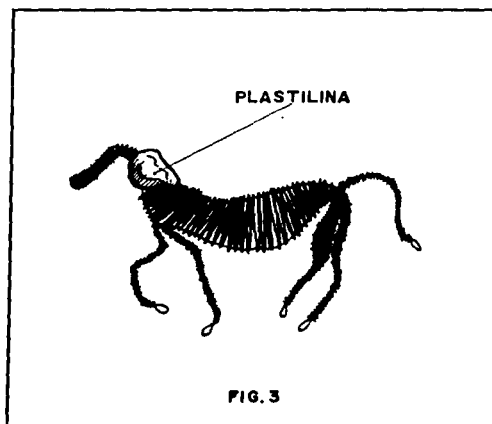
Dicha estructura se hace normalmente de alambre de fierro recocido, y se fija sobre una base de madera, esto depende de la complejidad de la forma. En este caso, con fines de lograr una simplificación y mejor comprensión del proceso a la "cera perdida", se ha optado, por la figura de un caballo, sin complicaciones y sin base.

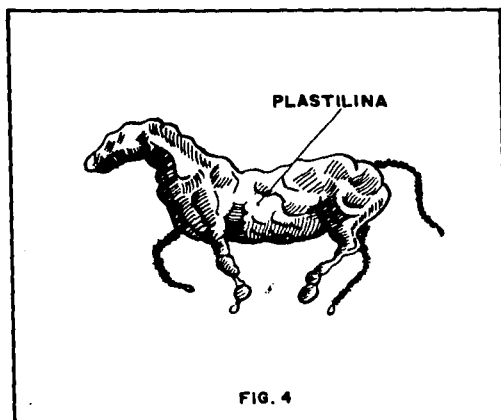
Auxiliados por dibujos y bocetos de la figura se logra la proporción y con la ayuda de pinzas de electricista, se forja el alambre que en este caso no debe ser muy grueso de manera que nos permita hacer las correcciones necesarias. *fig. 1*



Obtenido el esqueleto de alambre de nuestra figura, es necesario envolverlo como si se tratara de un vendaje, con hilo de algodón, esto con objeto de que la plastilina se adhiera al hilo y así poder trabajarla mejor. *fig. 2,3*

Acto seguido se adhieren masas de plastilina a la estructura, que se sueldan unas con otras por la presión ejercida, a fin de dar corporeidad, agregando material en los lugares donde existan

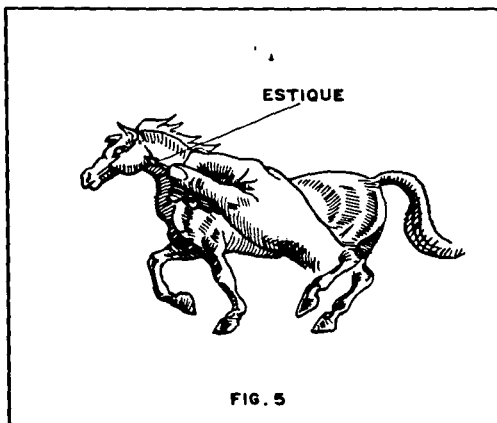




protuberancias y retirandolo donde hay depresiones, se trabaja de lo general a lo particular. *fig. 4*

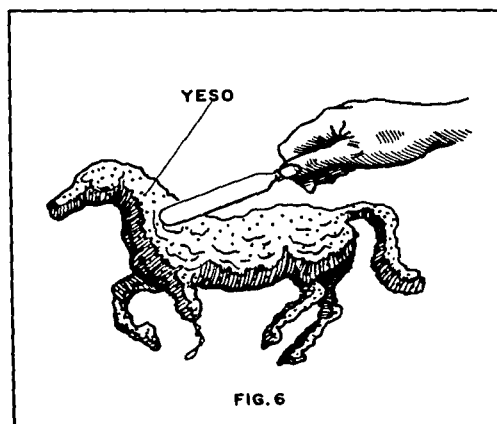
Logrado el volumen correcto, se procede a detallar con ayuda de los estiques. De esta manera, se obtiene el modelado en plastilina de nuestra figura. *fig. 5*

El uso del barro plástico es mas frecuente para modelar figuras de mayor tamaño, donde se requiere mayores cantidades volumétricas de



material para poder modelar y donde el precio comparado con la plastilina es menor. El barro ofrece otra ventaja, permite una gran rapidéz en la construcción de volúmenes, sin embargo, la pérdida de humedad constituye un riesgo permanente, debido a que el volumen disminuye, así como su plasticidad, por lo que requiere continuas aplicaciones de agua para humectarlo, se usa preferentemente para el modelado de figuras compactas.

En ocasiones se usa el yeso o sulfato de calcio para modelar directamente, aprovechando la facultad que tiene este material, de cristalizarse



cuando se mezcla con agua, el modelado se hace aplicando el yeso sobre la estructura de alambre, que debe barnizarse previamente, para evitar la rápida oxidación del alambre recocido, que de otra manera pigmentará el yeso de manera irregular.

La pasta formada por la mezcla de yeso y agua es aplicada con una espátula y con este instrumento se da forma a las masas de material antes que la reacción de cristalización ocurra. *fig 6* Se puede hacer correcciones sobre la marcha, se puede agregar material y retirarlo de donde se desee, para lo cual se usan escofinas y papeles abrasivos. Esta manera de modelar con yeso, permite obtener texturas con carácter accidental,



esta es una de las razones por las que se usa este método, sin embargo se requiere pericia en el manejo del yeso para obtener resultados satisfactorios.

Indudablemente que, si se desean reproducciones del modelado en yeso sera necesario la obtención del molde flexible .

Una de las posibilidades que nos ofrece el proceso a la "cera perdida", es la de trabajar el modelado directamente con la cera, aplicandola como si de plastilina se tratase, sobre la estructura, que en este caso debe hacerse de alambre de cobre o bronce, *fig. 7* esto es importante debido a que una estructura de alambre recocido de fierro serviría como un dissipador de calor al momento del vertido del metal fundido, en el molde, lo que tendría como consecuencia una solidificación prematura, impidiendo el llenado completo del molde.

La cera se trabaja con las manos, previamente calentada, y también es necesario el uso de hierros candentes que sirven para dar textura a la cera, o soldar masas de cera o detalles. También puede usarse un caufín de radiotécnico para el trabajo de la cera.

Es importante indicar que el trabajo de modelado con cera permite hacer agregados, así

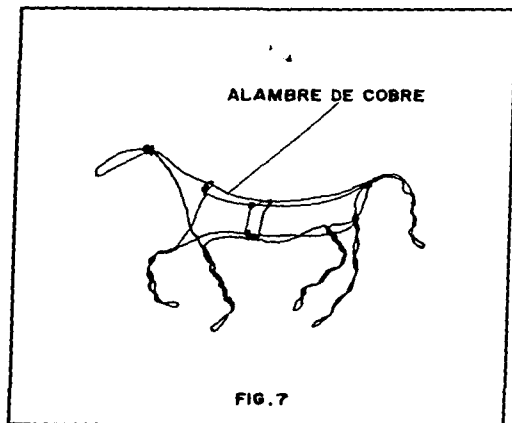


FIG. 7

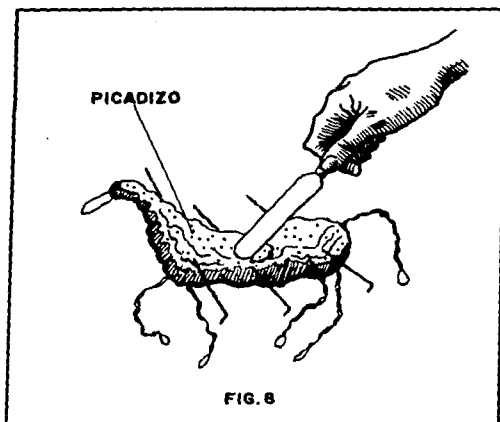
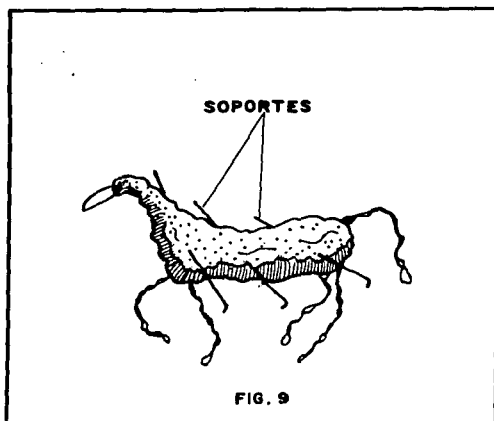


FIG. 8

como detalles delicados, que en otros métodos de modelado se perderían al obtener moldes. Esto es factible gracias a que la cera posee la particularidad de soldarse así misma con el calor, debido a su bajo punto de fusión.

Indudablemente el modelado con cera presupone el uso de una materia lo suficientemente maleable, que permita su manipulación y responda favorablemente a los deseos del productor plástico. Más adelante se describirá la manera de hacer la preparación de cera para tal efecto.

Sin embargo, en el modelado de cera directa y sobre todo en la escultura pequeña, se debe evitar en lo posible las secciones gruesas en lugares donde habrá secciones delgadas, por ejemplo, para el modelado de figuras humanas desnudas y de pie, el modelado de cera directa es ideal, ya que hay poca diferencia entre el grosor del cuerpo y el grosor de brazos y piernas; no ocurre lo mismo con la figura de un caballo, donde el grosor del cuerpo contrasta con las delgadas patas, aquí es factible que ocurran fenómenos inherentes al momento de solidificación del bronce, como la fractura de las secciones delgadas, debido a esfuerzos por la pérdida de



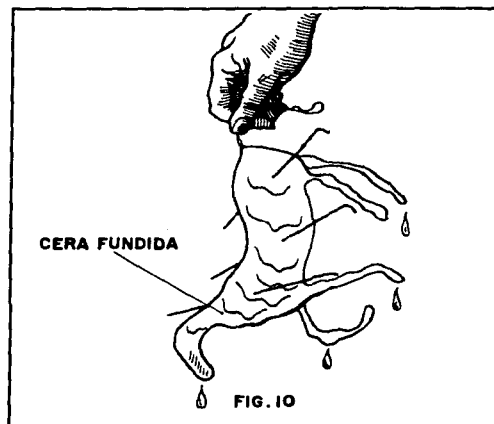
calor de manera desigual,³³ ya que las partes estrechas se enfrían primero que las partes gruesas.

Esta dificultad aún puede solucionarse modelando la cera sobre un "corazón", o "núcleo" de material refractario, de modo que el espesor de la cera aplicada varíe entre no más de 5 mm. y no menos de 3 mm. En este caso el material refractario se aplicará sobre la estructura de alambre de cobre, como si se tratara de un modelado de yeso directo, *fig. 8* además será necesario insertar unos alambres de cobre en el "corazón" de modo que se prolonguen hacia la superficie de la pieza para que sirvan de soportes al "corazón". *fig. 9*

La estructura de cobre ó latón con el "corazón" modelado, se sumerge en cera fundida y se saca de inmediato, con el fin de que se forme una película de cera sobre la cual se pueda trabajar, *fig. 10* agregando masas de esta para dar los volúmenes donde sea necesario, con la ayuda de estíques metálicos, previamente calentados a la llama de un mechero, o mejor todavía, con el cautín eléctrico se allana o si se desea, se texturiza la superficie. *fig. 11* Es en este momento en el

que se podrá modelar la crin, las orejas y la cola del caballo.

Terminado el trabajo de modelado en cera directa, se procede a colocar las barras de cera, pero la descripción de esta etapa del proceso se expone en el capítulo V; por ahora baste decir que el modelado a la cera directa tiene la ventaja de que no es necesaria la obtención del molde flexible, pues lo que se modela con cera pasa al molde de fundición; sin embargo, también es de suponer que el modelado con cera directa es pieza única y que si por alguna circunstancia, como veremos mas adelante, la fundición fallara, todo el trabajo de modelado así como los preparativos para la fundición serían infructuosos. Por otro lado, si se de sean copias del modelado, será necesario la obtención del molde flexible.



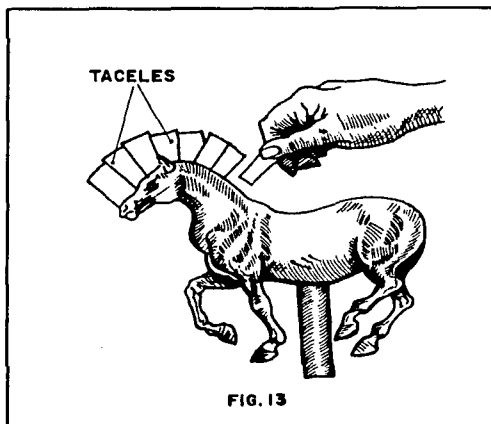
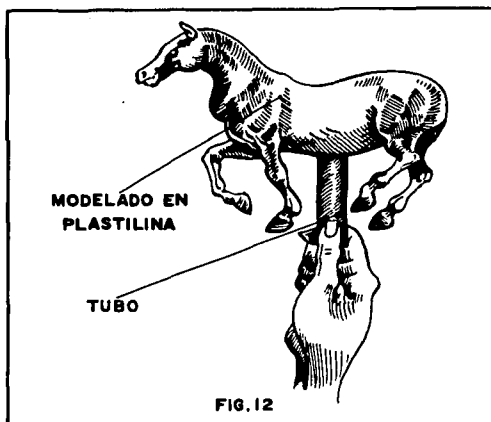
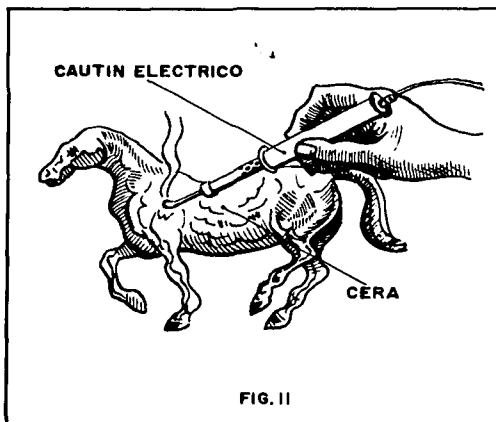
33 MOORE, H.D. MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACION
ED. LIMUSA MEXICO 1986
PAG. 222, 223, 224

CAPITULO III OBTENCION DE MOLDES

Después de que se ha terminado el trabajo de modelado de la plastilina, se procede a la obtención del molde, pero antes se debe analizar la forma para determinar las partes en que se ha de dividir el molde, de donde se lograrán las reproducciones en cera. Es oportuno indicar, que en tanto más divisiones tenga un molde, (taseles) más fácil es el acto de desmoldar, sin embargo, la reproducción presentará más líneas de partición, que se manifiestan como crestas o en su defecto como ranuras, lo que implica que el trabajo de retoque sea más laborioso, además de que un molde muy fragmentado, es más difícil de manejar y requiere más trabajo su elaboración.

Para la figura que hemos elegido será necesario un molde en dos partes, por lógica deducimos que la línea de partición se efectuará longitudinalmente, es decir, a lo largo del lomo y por abajo sobre la panza, entre las patas, la línea de partición se hará internamente.

Es necesario prever, que el molde terminado debe poseer un orificio por donde penetrará la cera fundida, con el objeto de obtener una o varias reproducciones en este material. En nuestra figura se puede usar la panza del caballo, para que por ahí se haga penetrar un tubo o un cilindro delgado,



que servirá como modelo para obtener el conducto por donde se vierta la cera al interior del molde. fig. 12

Para el orificio de vertido, puede usarse también el lomo o la cola, pero en este último caso será necesario eliminar la cola del caballo y ahí colocar el tubo o cilindro, posteriormente, se hará la cola por separado y se suelda esta después de obtener la reproducción en cera. Esta es una de las ventajas que ofrece el proceso de la "cera

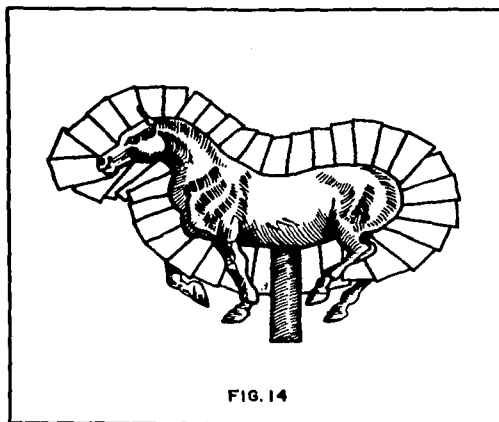


FIG. 14

perdida", pues una figura compleja puede simplificarse, cortándola, u obteniendo moldes de cada una de sus partes y posteriormente se unirán o soldarán con la espátula caliente.

Habiendo determinado la trayectoria de la línea de partición se procede a levantar sobre ésta y a todo lo largo, una pared, haciendo penetrar en la plastilina pequeñas láminas delgadas de metal, de forma rectangular como se muestra en las figuras. 13, 14

Terminado el trabajo de colocar las laminillas metálicas y el tubo para el conducto de cera, el modelado de plastilina se asienta, por uno de sus costados, cuidando que no se deforme o aplaste la pared asentada, acto seguido se adhiere sobre la pared de láminas, y a todo lo largo de ella, una delgada barra de plastilina previamente modelada, que tomará la forma del perfil de la figura de plastilina, como se observa en la ilustración. *fig. 15* Después se aplica una solución de jabón y agua sobre la pared de laminillas, que al secar dejará una delgada película de jabón, que actuará como desmoldante, impidiendo, que el material, que servirá para hacer el molde, se adhiera a la pared de láminas.

Para la obtención de moldes flexibles se usaba antiguamente la "cola fuerte" o "cola para

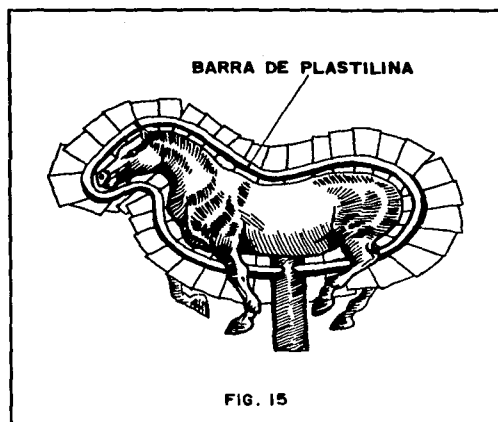


FIG. 15

carpintero", que es un producto menos refinado que la grenetina que se usa con fines alimenticios y se obtiene de los residuos de huesos y pieles sin curtir;³⁴ este colágeno tiene la particularidad de absorber agua y formar una gelatina, reteniendo la forma del recipiente que la contiene, posteriormente, llega a un punto en que debido a la pérdida de humedad por evaporación, la gelatina se torna mas resistente y elástica, condición que sirve muy bien a los propósitos de obtener moldes. La cola se preparaba adicionándole substancias como el aceite de linaza, o la glicerina. En los talleres de fundición artística, todavía hoy se usa para elaborar moldes de figuras grandes donde el detalle no es profuso.

Afortunadamente hoy, disponemos de un material de inmejorables características, que permite la reproducción del más mínimo detalle, por lo que presta excelentes servicios a la escultura en la obtención de moldes. Este material es un derivado de la combinación del silicio con el oxígeno, llamado "silicón" o "Silicona", éste elastómero se presenta como un líquido espeso de color blanco o gris, con la consistencia de una resina, y que tiene la facultad de polimerizar a la

34 PUIG, I. CURSO GENERAL DE QUIMICA
ED. MARIN S.A. MEXICO 1968 PAG. 880



temperatura ambiente, después de mezclarse con un catalizador, que lo acompaña y con el que adquiere características físicas y químicas que lo transforman en una materia elástica.

El tiempo de polimerizado depende de la cantidad de catalizador, y de las condiciones de temperatura del lugar donde se trabaja; por tanto, para su uso se requiere familiarizarse con el producto, practicando antes, algunos ensayos para determinar el tiempo de polimerizado o curado, el cual debe ser suficiente para permitirnos hacer la primera aplicación sobre el modelado de manera que, después de distribuir el material, el tiempo

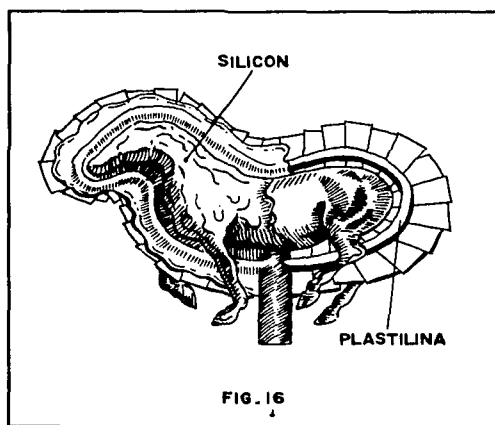


FIG. 16

de endurecimiento no se prolongue y se escurra el "silicón". Evidentemente la reacción de polimerizado no debe ser tan rápida, que el "silicón" se endurezca en el recipiente donde se hizo la mezcla con el catalizador.

El "silicón" se aplica directamente sobre la superficie de plastilina, sin necesidad de algún desmoldante, dicha aplicación se hace con un pincel de pelo suave, procurando que el líquido penetre por las mas pequeñas hendiduras del modelado, se debe evitar en todo momento el atrapamiento de aire, el cual se manifiesta en forma de burbujas. *fig. 16*

Después de que ha curado o polimerizado la primera capa de "silicón", se procede a hacer una segunda aplicación. Cuando esta última esta por polimerizar, adquiere una consistencia muy viscosa, pero con una gran cohesión entre si, de modo que al tocarla, no se adhiere a los dedos, este es el momento oportuno para cubrir la forma con una tela de "manta de cielo" que se cortará previamente, asegurándose de que la tela se introduzca en todas las depresiones de la superficie del modelado, de tal suerte que se evite la formación de bolsas de aire, que pueden afectar la impresión, que el "silicón" toma de la topografía

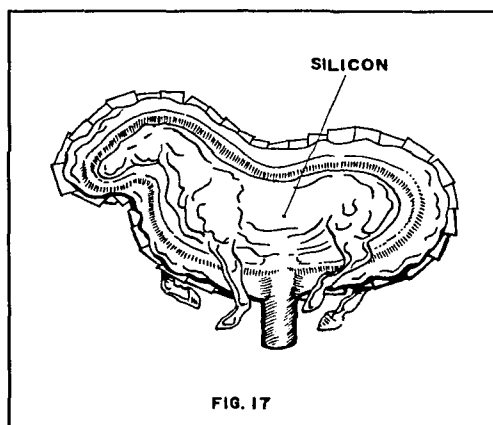


FIG. 17

del modelado. La tela trabaja como material de refuerzo, impartiendo resistencia al desgarre del molde, pues este se someterá a esfuerzos y tensiones.

Posteriormente se hacen sucesivas aplicaciones de "silicón" para darle grosor y éste se mantenga turgente. *fig. 17*

En algunos talleres de fundición artística se conoce incorrectamente al "silicón", como caucho, sin embargo el verdadero caucho se obtiene del látex, que es el líquido o jugo extraído de los árboles llamados del "caucho". Cuando el caucho se combina químicamente con el azufre,



mejoran sus propiedades elásticas, esta combinación se llama "vulcanizado".

Este material también se usó hace algunos años para la elaboración de moldes flexibles. Es oportuno indicar que a una gran variedad de elastoplásticos se les conoce vulgarmente como "caucho sintético" por la semejanza que estos presentan con el verdadero caucho "vulcanizado", el principal de estos elastómeros es el "neopreno",³⁵ que se obtiene del butadieno.

El "silicón" puede admitir algún pigmento en mínima cantidad, además de una carga de carbonato de calcio que es precisamente con lo que en el comercio suele adulterarse, pues le imparte peso y volumen, en detrimento de la elasticidad, además de que pierde fluidez, por lo que en este caso se expende al público acompañado con aceite de silicón, como diluyente.

Después de que el "silicón" ha alcanzado el grosor necesario, que puede variar entre 3 mm. y 5 mm., se procede a hacer un caparazón sobre el "silicón", con un material duro que le permita mantenerse rígido, y evitar alguna deformación, este caparazón que actúa como una férula, se conoce vulgarmente en los talleres de fundición, con el nombre de "cama". El caparazón puede hacerse de yeso, o mejor aún con plástico poliéster y fibra de vidrio.

El poliéster es un plástico termofijo (su endurecimiento va acompañado de una gran producción de calor, llamada temperatura exotérmica o de reacción), se presenta como un líquido muy viscoso y transparente, con la consistencia, parecida a la de la miel de las abejas y olor característico a plástico. Es un derivado de los hidrocarburos y proviene de sus ésteres. Posee la facultad de solidificarse (polimerizado), cuando es mezclado con un monómero que suele ser el de estireno, un catalizador (peróxido de benzoilo), y un acelerador (octoato de cobalto). La mixtura de estos componentes en las proporciones

apropiadas, da como resultado la polimerización del plástico poliéster.³⁶

En estado líquido, puede colorearse con algún pigmento, puede admitir alguna carga como el carbonato de calcio, el caolín o el talco, se usa normalmente asociado con la fibra de vidrio, que es el material de refuerzo, pues le imparte resistencia a la fractura.

Para la realización del caparazón se procede de la siguiente manera: Se cortan pequeños pedazos de tela de fibra de vidrio, los que se sumergen en el poliéster previamente catalizado y acto seguido se aplican sobre la capa de "silicón", cuidando que la tela de fibra de vidrio embebida, se adhiera sobre la forma sin que se atrape aire.

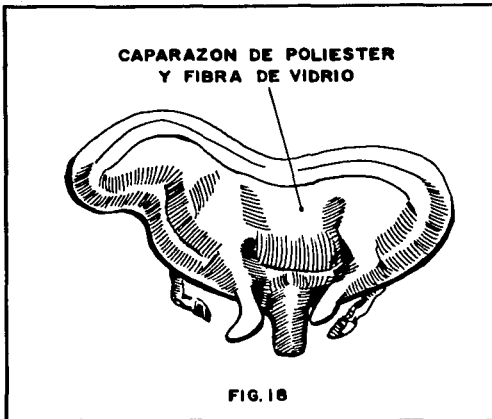
Cada pedazo de tela de fibra de vidrio debe cubrir en una tercera parte a la tela antes colocada, con objeto de lograr la continuidad en el material que conforma el caparazón. Cuando el caparazón ha alcanzado un espesor de unos 3 mm., se suspenden las aplicaciones de fibra de vidrio, pues con esto será suficiente para cumplir la función de mantener rígido al molde de "silicón".

Es oportuno indicar que la aplicación de fibra de vidrio y poliéster, sobre el molde flexible de "silicón", en la región de las patas del caballo, se hará el recubrimiento solo hasta la mitad de su sección transversal, pues si envolviéramos totalmente la pata del caballo, como se hizo con el "silicón", sería casi imposible extraer dicha parte de su envoltente de plástico reforzado. En este lugar, el caparazón se presentará como una canal o media caña en cuyo lecho descansará el molde de silicón con la forma de las patas del caballo, dicho canal servirá solamente para mantener rígido el molde flexible.

Los excedentes de plástico reforzado, se cortarán poco después del "gelado", esto es, cuando la consistencia del plástico ha adquirido la apariencia de la gelatina, lo que se hace con

35 OP. CIT. CURSO GENERAL DE QUIMICA... PAG. 416

36 PARRILLA, F.C. RESINA POLIESTER, PLASTICOS
REFORZADOS 5a EDICION MEXICO 1976
PAG. 35, 36, 37

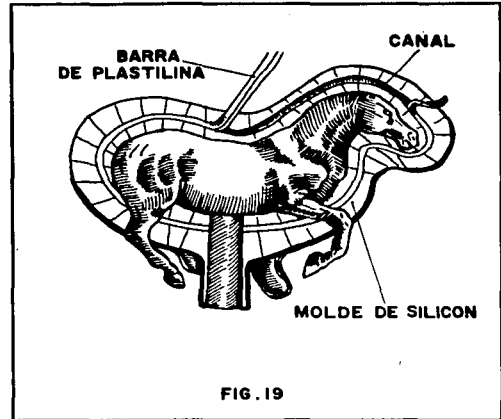


tijeras o una navaja bien afilada, si se prefiere se harán los cortes después de que la temperatura de reacción haya disminuido, sin embargo esto último requiere mas trabajo. Puede usarse entonces, un disco abrasivo para eliminar el excedente de material.

Finiquitado el acto de aplicar la fibra de vidrio, así como el corte de los excedentes de material, se habrá construido la primera parte de las dos que conforman nuestro molde. *fig. 18*

Ahora se invierte el conjunto que forman el modelado de plastilina, el molde de silicón y el caparazón de plástico reforzado, y se asienta por el lado del caparazón, acto seguido, se retiran las laminillas metálicas, cuidando que al ejecutar esta operación no se deforme el lugar donde estuvieron insertadas, posteriormente se retira la barra de plastilina que ahora ha quedado expuesta por el lado que otrora le sirvió para descansar sobre la pared de laminillas, esto nos permite comprender la razón de ser de esta barra, pues ha dejado en el molde de silicón un canal que será de gran ayuda; posteriormente veremos su función. *fig. 19*

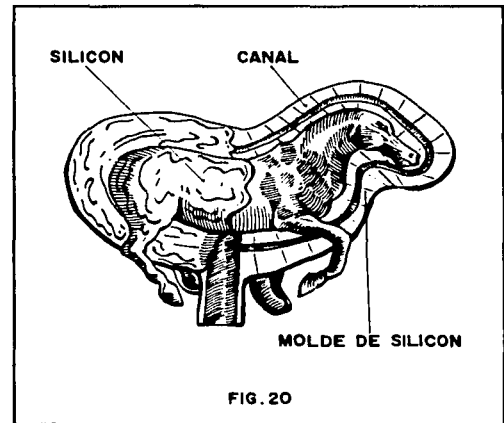
Retirada la barra de plastilina así como las laminillas, se procede a hacer las aplicaciones de silicón sobre el modelado de plastilina, con objeto de obtener la contra parte del molde, pero antes



se debe aplicar la solución de agua jabonosa al silicón que rodea a nuestro modelado, que ahora forma la primera parte como ya se indicó.

Las aplicaciones de silicón deben hacerse de manera cuidadosa, evitando en lo posible las burbujas de aire como en el primer caso. *fig. 20*

Especial atención se debe prestar al canal dejado por la barra de plastilina, pues en esta cavidad se introducirá un cordel embebido en silicón a todo lo largo del canal, lo que le impartirá





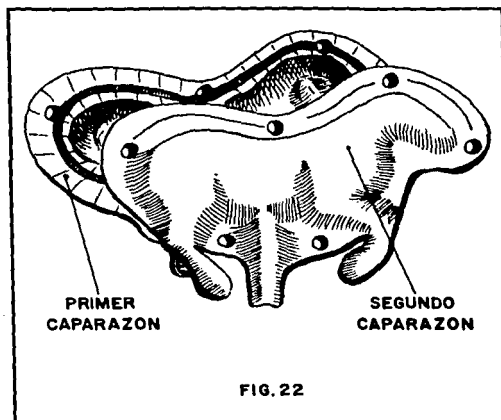
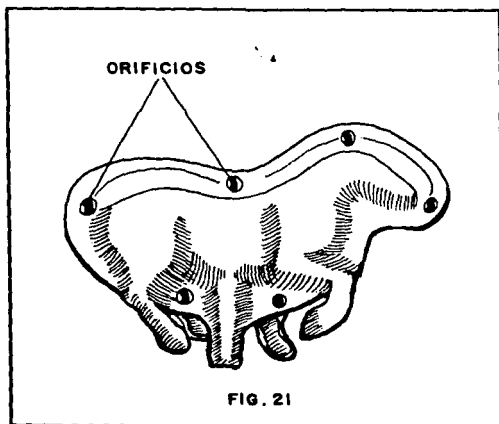
resistencia al desgarre al molde, así como cierta rigidez necesaria para, que, al tomar la forma del canal, se establezca una unión macho-hembra. Esta unión permitirá que, las partes en que se divide el molde casen y permanezcan en su sitio. Esta unión sirve también para impedir que la cera escape por la junta.

Obviamente, se repetirán las operaciones que se hicieron con la primera parte del molde, como la aplicación de varias capas de silicón, la inclusión de tela de manta de cielo como refuerzo, e indudablemente el caparazón o "cama" de poliéster y fibra de vidrio, así como el recorte de excedentes.

De esta manera hemos obtenido la contraparte del molde flexible.

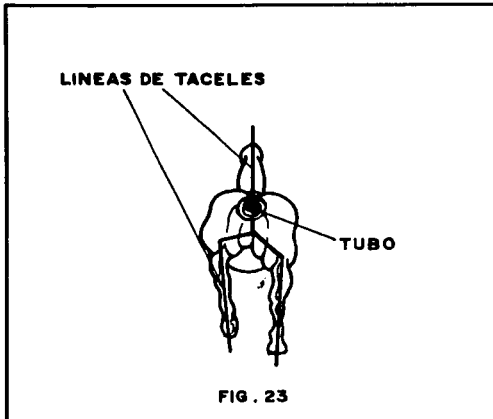
Posteriormente, se harán perforaciones en la ceja o pared, donde se localizaban las laminillas de metal; fig. 21 esta operación se ejecuta con un taladro y broca de 1/4 de pulgada, y servirán para introducir tornillos con sus respectivas tuercas, manteniendo unidas ambas partes.

Es oportuno recordar que el molde descrito servirá solamente para obtener reproducciones en cera, y que con objeto de simplificarlo se han omitido algunas partes de la anatomía del caballo como la cola, la crin y las orejas, con esta misma



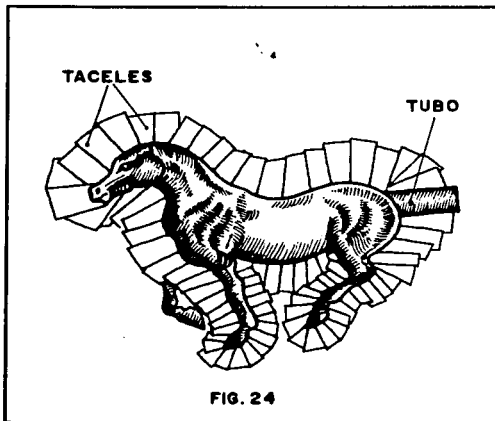
intención, el caparazón ha quedado incompleto en la región de las patas, pues recuerdese que este envuelve solo la mitad de estas prolongaciones del modelado. Es importante tener presente esto, pues ha llegado el momento de desmoldar, esto es, retirar el molde del modelado. Desprender el caparazón en este momento es cosa fácil, si se han seguido con atención las indicaciones, sin embargo, retirar la capa de silicón no va ser posible, pues es necesario recordar que la aplicación de silicón y manta de cielo, envuelve por completo a las patas del caballo, a la manera de un vendaje, por lo que es menester, cortar con una navaja bien afilada dicho vendaje, a todo lo largo de la pata, observando la precaución de que la incisión se ubique en la parte interna de las patas, desde los cascos, hasta la parte inferior de la panza, lo que equivaldría a la ingle, en el caso de las patas traseras, y el pecho en las delanteras; de esta manera se liberan las patas y el molde se puede desprender.

Después de efectuadas las incisiones, se procede a retirar del modelado la capa de silicón, que ha sido impresionada con la topografía del modelado, y se coloca cuidadosamente sobre el caparazón de plástico poliéster, posteriormente se retira la contraparte de silicón y también se

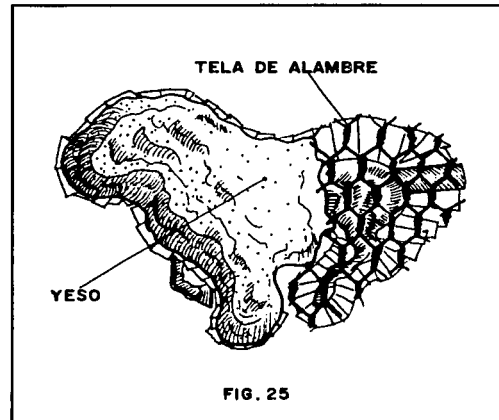


deposita sobre su caparazón correspondiente, en seguida se hacen coincidir ambos caparazones, *fig. 22* cuidando que empalmen perfectamente, después se introducen los tornillos en los orificios, y se atornillan las tuercas. El molde así dispuesto, se encuentra listo para usarse, vertiéndole cera fundida, por el orificio que posee.

Cuando la forma del modelado lo permite, esto es, cuando hay poco detalle, o cuando la figura es mas grande, se pueden hacer los moldes



de yeso, en este caso la línea de partición tendrá otra trayectoria: Ubicada en la región de la panza del caballo. En las patas del mismo se insertarán las laminillas con miras a efectuar un corte longitudinal, esto es a todo lo largo. *fig. 23* Estas diferencias con respecto al molde flexible, tendrán por objeto la obtención de un molde de tres partes. El orificio de alimentación de cera, se ubicará en el lugar de la cola del caballo, igualmente que en el caso anterior, se prescindirá de los detalles como la crin y las orejas. Después de insertar las laminillas que determinan la línea de partición, como se muestra en la figura, *fig. 24* se procede de la siguiente manera: Se corta un pedazo de



tela de alambre de gallinero, o en su defecto metal desplegado, siguiendo el perfil del modelado y la pared de laminillas metálicas, las cuales a su vez se untarán con vaselina sólida, que servirá como desmoldante.

Acto seguido, se hará la mezcla de yeso con agua hasta lograr la consistencia necesaria y se vierte directamente sobre el modelado de plastilina, evitando atrapar aire, se extiende una capa uniforme, con la ayuda de una espátula, cuidando que la mezcla penetre por las depresiones, así como sobre la pared de laminillas.



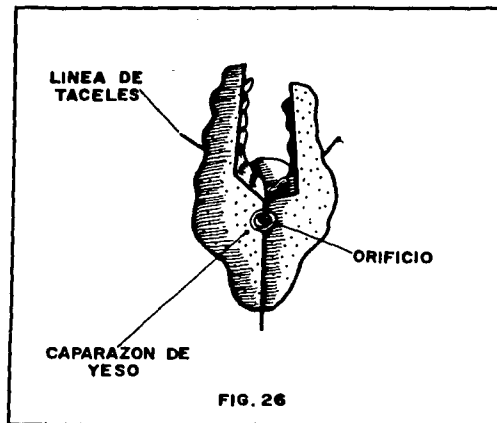
Posteriormente se procederá a elaborar la segunda parte del molde de yeso, para lo que se actúa de la siguiente manera: Se asienta el modelado por la parte de yeso ya elaborada, luego se hace la preparación de yeso y agua de modo que la mezcla posea la suficiente fluidez, como para que ésta se pueda extender y penetrar por todas las hendiduras, asegurándose de que el fluido se introduzca en las horadaciones cóncavas. Es evidente que se repetirá el proceso de incluir en el yeso la tela de alambre como refuerzo.

Como podemos ver en la *fig. 26* tenemos las dos partes del molde, pero aún falta hacer la tercera parte del mismo, la que corresponde a la región interior de las patas y la panza.

Para ejecutar esta parte del molde, se deben practicar las multitudes horadaciones en cada una de las paredes de las líneas de partición del molde, que ya se han elaborado anteriormente e impregnarlas de vaselina sólida. El molde se coloca de manera que las patas apunten hacia arriba, luego se hace la mezcla de yeso y agua y se vierte sobre la plastilina expuesta, donde las paredes untadas con vaselina servirán a manera de diques. Será necesario insertar un alma de alambre en la pasta de yeso, cuidando que el alambre se ubique a lo largo de las patas del caballo, pues aquí es factible, que ocurra una fractura en el molde, por ser la sección más delgada.

Una vez que hubo fraguado la última aplicación de yeso, se procede a separar las secciones de que se compone el molde, introduciendo una delgada lámina metálica o espátula, en las juntas de cada parte del molde, ejerciendo un ligero movimiento de torsión, lo que se hace con sumo cuidado. Después de lograr separar una de las secciones, es más fácil desprender del modelado las secciones restantes. En ocasiones, cuando el modelado posee superficies de agarre, la plastilina se desprende del modelado y se adhiere al molde, por lo tanto, será necesario limpiar el molde, retirando cuidadosamente, para no dañar la impresión, los

fragmentos de plastilina que hubieran quedado adheridos. De esta manera, tenemos un molde de yeso, que nos servirá para hacer reproducciones en cera.



CAPITULO IV OBTENCION DE REPRODUCCIONES EN CERA

Como ya se indicó, la elaboración del molde tiene por objeto obtener reproducciones del modelado en un material maleable y de bajo punto de fusión. La cera de abeja cumple satisfactoriamente dicho cometido, sin embargo, su elevado precio limita su uso. Afortunadamente existen en el mercado ceras parecidas a la de abeja y se les conoce en el comercio como: "Cera amarilla" y "cera blanca". Para lograr resultados satisfactorios en la obtención de reproducciones en cera para fundición, éstas han de mezclarse con algunos aditivos que le imparten plasticidad, tal es el caso de algunas resinas de origen vegetal como el copal, o trementina, pero, el precio de estas resinas también es alto, por lo que en los talleres de fundición se usa preferentemente la brea colofonia que antiguamente se conocía como "pez griega", la cual se obtiene como un residuo de la refinación de la trementina en la fabricación del aguarrás o esencia de trementina y cuyo precio es menor. Por esta misma razón se usa la parafina, que tiene su origen en la refinación de los hidrocarburos, para mezclarse con la cera amarilla, pues la parafina tiene un precio menor que aquélla.

Fundamentalmente las ceras deben ser apreciadas por la facultad de evaporarse rápidamente al someterla al fuego, sin que deje residuo alguno, esto es muy importante, pues esta particularidad va a incidir en la calidad de la superficie de la pieza, y se debe considerar un factor más por controlar.

Cada taller posee una manera particular de preparar la cera para las reproducciones del modelado, de igual manera ocurre con las proporciones de los ingredientes que entran en la composición del material fusible. Existen casos en los que se adicionan sustancias como el aceite comestible de cocina, petróleo, aceite lubricante quemado, sebo animal, manteca de cerdo, ácido esteárico o estearina.

Todas estas sustancias van a modificar la consistencia de la cera, permitiendo su manipulación, pues con estos aditivos, ésta



adquiere una consistencia más plástica. Sin embargo el uso de estos aditivos requiere cuidado, pues en el caso del aceite comestible, por pertenecer éste a los aceites secantes³⁷ (se combinan con el oxígeno del aire y forman compuestos sólidos), existe la posibilidad de que la temperatura de horneado del molde no sea suficiente como para lograr la completa incineración de los residuos dejados por el aceite comestible.

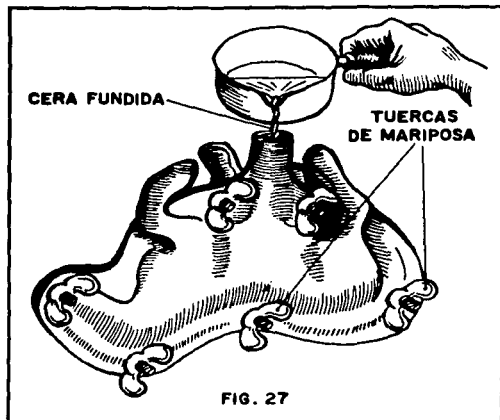
En el caso del aceite quemado, por provenir de la lubricación de los motores o de máquinas donde existe la fricción entre metales, el aceite se carga de partículas metálicas o de óxidos de estos, que al momento de la evaporación de la cera por el horneado, se depositan como residuos en las paredes del molde, reaccionando con el metal fundido al ponerse en contacto, al momento del vertido.

Por otro lado, en lo que coinciden los talleres de fundición, es en el uso de los componentes fundamentales que son: la brea colofonia, la parafina y la cera amarilla.

Para la preparación de cera, se procede de la siguiente manera: Se funden a fuego lento, por separado, la cera amarilla, la parafina y la brea, cuando los tres ingredientes se encuentran en estado líquido, se reúnen en un solo recipiente y se adicionan los otros componentes líquidos como el aceite o el petróleo.

Con objeto de reducir la translucidez de la cera para las reproducciones, y poder apreciar los detalles de las mismas, se adiciona a ésta alguna dispersión de color, como los pigmentos de alquitrán o algún otro pigmento previamente desleído en aceite o petróleo, sin embargo la cantidad debe de ser mínima, pues recuerdese que al evaporarse la cera no debe dejar residuo alguno, además de que muchos pigmentos provienen de óxidos metálicos y por tal motivo su uso debe ser discreto. En los talleres de

37 DOERNER, M. LOS MATERIALES DE PINTURA
ED. REVERTE BARCELONA, 1980 PAG. 95



fundición se usa el color rojo; sin embargo, hay lugares donde no se usa pigmento alguno.

En la preparación de cera para fundición, el exceso de parafina da como resultado una cera quebradiza, difícil de trabajar, de manera que no se integra a sí misma cuando se pretende amasar.

El exceso de brea modifica la mezcla impatiéndole una gran dureza y fragilidad cuando se encuentra fría, cuando adquiere calor se ablanda rápidamente tornándose viscosa, de modo que al amasarla se adhiere a la piel, en tales condiciones también es difícil de trabajar.

Cuando la preparación de cera está excedida en aceite o petróleo, adquiere una consistencia grasosa al tacto y se dificulta el acto de soldarla con el caufín, debido a la falta de cohesión entre sí.

Por otro lado si la cera es demasiado dura, se le adiciona un poco de "cera de campeche", cuando es muy blanda se le adiciona "cera candelilla".

En algunos casos, la cera para la reproducción difiere en proporciones con la cera para la fabricación de coladas, pues hay talleres donde la brea colofonia y la parafina constituyen el material fundamental de las barras de cera o coladas.

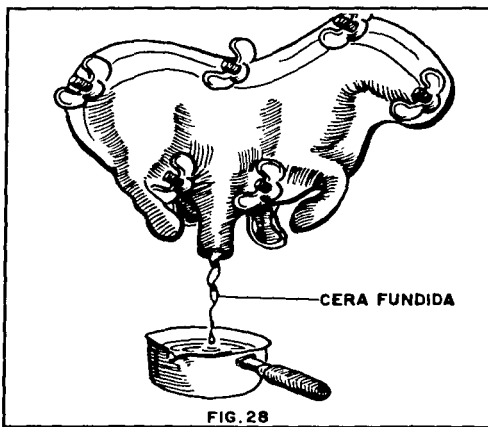
Sin embargo, en otros talleres se utiliza un solo tipo de cera, tanto para las coladas como para la reproducción. Esto puede resultar más lógico, pues de esta manera se puede determinar un parámetro que nos permita predecir el comportamiento de la cera frente al horneado, toda vez que esta operación es en extremo determinante para lograr resultados favorables.

Acto seguido de que la cera ha sido preparada se dispone el molde previamente apretado con los tornillos y tuercas y a través del orificio que posee se vierte un poco de cera fundida, fig. 27 e inmediatamente se agita el molde con un movimiento circular de modo que el líquido recién vertido bañe las paredes interiores del mismo.

Después de calcular que la cera fundida se ha distribuido uniformemente en el interior, se vierte el excedente de cera, el cual saldrá por el orificio por el que penetró, fig. 28 evitando así algún encharcamiento en el interior del molde.

De esta manera aseguramos una delgada capa de cera que se ha adherido a la pared interna, esto es, en el silicón, que tiene impresa la forma en negativo dejada por el modelado en plastilina.

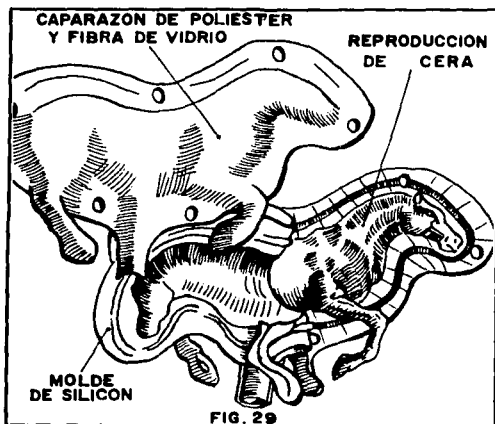
Transcurrido el tiempo suficiente como para que pierda calor el molde, se vierte por segunda





vez más cera por el orificio, repitiéndose la operación del movimiento circular e inmediatamente desalojando el exceso de cera, esta operación se repite varias veces hasta lograr un espesor de cera entre 3 mm. y 5 mm., de esta manera se obtiene una reproducción hueca en cera de nuestro modelado inicial en plastilina.

Es importante indicar, que el primer baño de cera fundida debe tener una temperatura más alta que los subsiguientes, pues el molde se encuentra



frío, y este absorberá parte del calor de la cera, provocando la pérdida de fluidez de la misma. Si el primer baño no es suficientemente fluido, el líquido no penetrará por las hendiduras del molde, esto tiene como consecuencia una mala reproducción de los detalles delicados, por otro lado si los baños que le siguen al primero se vierten muy calientes, arrastrarán la primera capa de cera ya solidificada al momento del desalojo del excedente, por tanto, cada baño debe tener menos temperatura que el anterior.

Es importante insistir, en efectuar un movimiento circular del molde inmediatamente después de que la cera fundida ha sido introducida en éste, pues el movimiento tiene por objeto, lograr una distribución uniforme del líquido

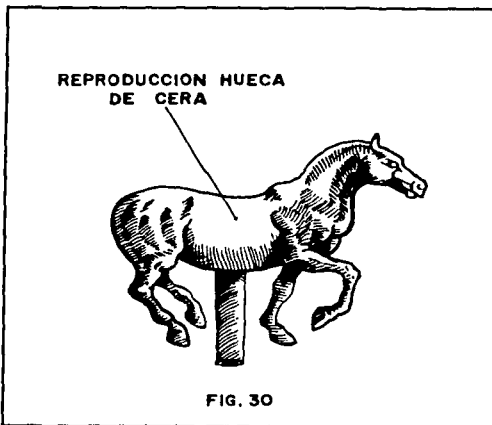
caliente, evitando la acumulación del mismo en un solo lugar, de no hacerse así, daría como consecuencia una irregularidad en el grosor de la pared de la reproducción en cera.

La apertura del molde se efectuará hasta que la pérdida de calor haya sido completa, lo que se facilita sumergiendo el molde en agua, la que funcionará como refrigerante. En los moldes con caparazón de poliéster reforzado con fibra de vidrio, el enfriamiento es menos rápido, pues el plástico es mal transmisor del calor.

Abrir el molde cuando este se encuentra caliente, tiene como consecuencia la deformación de la reproducción en cera, la paciencia es fundamental en esta actividad.

Después de que se ha enfriado el molde, se retiran los tornillos que mantienen juntos los caparazones de plástico reforzado y en seguida se libera la reproducción en cera del molde de silicona que la envuelve.

La extracción de la reproducción, se hará con sumo cuidado evitando en lo posible el mal trato, pues la cera se quiebra fácilmente. fig. 29 En figuras como la que nos ocupa, suele ocurrir que se fracturen las secciones delgadas y prolongadas, como las patas del caballo, afortunadamente la cera puede repararse, sin embargo en tanto menos



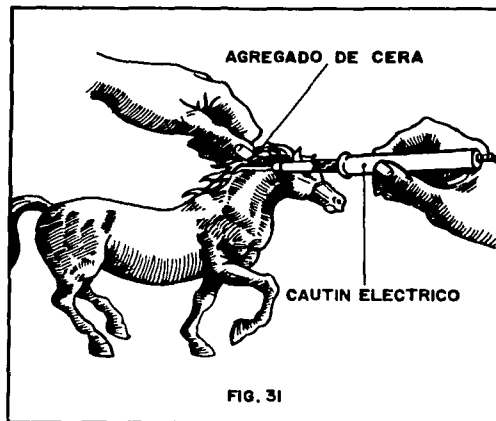


FIG. 31

daño se cause a la reproducción, el trabajo de retoque será menor.

Una vez liberada la reproducción de cera, se procede a retocar ésta, eliminando las rebabas de las líneas de partición, así como la corrección de las imperfecciones y los granos de cera, que se originaron por el aire atrapado, y en general, todos los daños inherentes al desmoldeo. *fig. 30*

En este momento estamos en la posibilidad de agregar a nuestra figura la crin, la cola y las orejas faltantes, lo que se hace soldándolas con el cautín eléctrico o en su defecto con una pequeña lámina calentada a la llama de un mechero. *fig. 31*

En el caso de que el caparazón sea de yeso, se debe proceder de ésta manera. Se extrae el molde de silicón y se sumergen en agua las partes de yeso. El objeto de esta práctica es que el material se sature de agua, una vez logrado esto, se acomoda cuidadosamente el molde flexible en el caparazon de yeso húmedo y se integra todo el conjunto, haciendo coincidir las horadaciones hechas con la espátula, con las protuberancias de cada sección del molde, estas protuberancias de yeso que sobresalen de la pared que sirve de junta en cada sección del caparazon se conocen vulgarmente como llaves y tienen la función de mantener cada sección de yeso en su lugar.

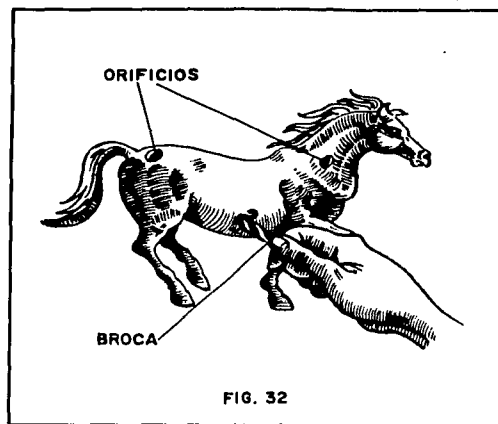


FIG. 32

Después de armar el molde, se ata con alambre todo el conjunto para mantener unidas todas las secciones del molde, también se puede usar unas ligas de material elástico.

Ahora se está en condiciones de verter el primer baño de cera fundida, repitiendo la operación del movimiento circular, así como el acto del desalojo. Es importante recordar que el caparazón debe estar bien húmedo, ya que de no hacerse así, la cera que escapa será absorbida por el yeso, adhiriéndose fuertemente y esto es exactamente lo que no deseamos. Por el contrario, cuando el yeso se encuentra saturado de agua, la cera fundida no se adhiere, esta particularidad del yeso húmedo, es aprovechada para hacer moldes directamente sobre el modelado, de donde posteriormente, se obtendrán reproducciones de cera. Indudablemente que los moldes de yeso no son muy funcionales para figuras pequeñas, sobre todo si tienen detalles.

Para el modelado de los detalles como la cola y las partes anatómicas faltantes, se puede hacer una preparación especial de cera, cuya consistencia sea lo suficientemente plástica como para que se pueda manipular. Estas preparaciones pueden ser de cera de abeja virgen adicionada con un poco de cera de campeche o en su defecto



puede usarse cera amarilla con parafina. Estas mezclas pueden servir asimismo para el modelado de cera directa, la proporción de los componentes de esta cera para modelar, va a depender de las necesidades del escultor, como el grado de dureza del material al que esté acostumbrado, teniendo cuidado de no exceder la cantidad de cera de campeche, que es muy viscosa y por tanto difícil de trabajar.

Como se comprenderá, la reproducción en cera permite la posibilidad de hacer modificaciones de todo tipo, podemos si quisiéramos, agregar o retirar detalles de la figura, así como darle textura lisa o rugosa, hacer perforaciones, o fijar la figura a una base (de cera por supuesto), y hasta hacer incrustaciones de otros metales (de igual o mayor punto de fusión). Esta es una ventaja que ofrece la fundición a la "cera perdida", pues permite al productor plástico la experimentación, así como la proposición de las más variadas formas.

Después de que se han hecho los retoques necesarios, así como las modificaciones deseadas, se practicará a la cera hueca, unos orificios circulares, *fig. 32* que se distribuirán en sitios estratégicos, evitando en lo posible las zonas con detalles, estos orificios servirán para que a través de ellos penetre la mezcla refractaria al interior de la cera hueca, y de forma al "corazón", de material refractario, que servirá para obtener una pieza de bronce igualmente hueca, esto es importante, puesto que de no haber orificios, se obtendría una pieza sólida, que presentaría problemas al momento del enfriamiento del metal, problemas de los que hablaremos mas adelante.

En algunos talleres se hacen las perforaciones con un tubo delgado y caliente a manera de un sacabocados, con un diámetro de $3/8$ de pulgada o más, también es posible hacer los orificios, con una broca de $7/32$ de pulgada, pero en este caso, el número de orificios será mayor.

Por lo general, en una figura como la que nos ocupa, y sobre todo por la posición en la que ésta se sumergirá en el material refractario, se

hacen 6 perforaciones de $7/32$ de pulgada de diámetro distribuidas a lo largo de la figura, de modo que sirvan como alimentadores de material refractario hacia el "corazón"; como ya se mencionó, y las dos últimas perforaciones servirán como orificios de escape de aire y se ubicarán en la parte posterior, cerca de la cola del caballo de cera.

En otros talleres se prefiere hacer una o dos perforaciones lo suficientemente grandes, para lograr la penetración de mezcla refractaria, más, en figuras pequeñas como la nuestra, esto tiene como consecuencia la destrucción de una buena parte del detalle, ya que en este caso, la perforación se haría en las ancas, cerca de la cola.

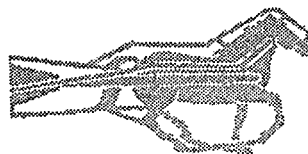
Después de efectuadas las perforaciones, la pieza de cera se atraviesa transversalmente con unos alambres de cobre preferentemente, o bien, con alambre de fierro recocido. *fig. 33*

Al punzar la pieza de cera, se debe evitar en lo posible, lesionar detalles, que después, en el bronce, serán más difíciles de reparar.

Los alambres cumplirán la función de sostener el "corazón" o "macho", del interior de la pieza, que es de material refractario; de no llevar los alambres de soporte, cuando la cera ha sido desalojada, el "corazón" se asentará en la pared del molde de fundición (esta pared constituirá la piel de bronce de la figura), y tendrá como consecuencia la falta de llenado por el fluido metálico en el punto de contacto entre el "corazón" y la pared del molde.

Después de efectuado el retoque, subsanado las posibles fracturas, así como la colocación de las partes anatómicas faltantes, sin olvidar las perforaciones para dar forma al "corazón" y atravesada la figura con los soportes de alambre, se está en condiciones de pasar a la siguiente etapa, que consiste en colocar las "coladas".

CAPITULO V COLOCACION DE BARRAS DE CERA O "COLADAS"



Acto seguido de que se ha retocado la reproducción de cera, se procede a adherir en la superficie de la misma, unas barritas de cera que servirán en el molde de fundición, después de someterlo a la acción del calor, como canales por donde circulará el metal en estado líquido, conduciéndolo hasta las partes mas intrincadas de la pieza.

Las barras se adhieren por medio del cautín o la espátula caliente, lo que se hace calentando uno de los extremos de la barra de cera, e inmediatamente se hace contacto con la superficie de la pieza de cera. *fig. 34*

Como ya se indicó, debido al bajo punto de fusión, del material, tanto de la barra de cera como de la pieza, estas se sueldan de manera autógena. En los talleres de fundición artística, se conoce a estas barras de cera como: "coladas", las hay de diferentes tamaños así como diferente diámetro en su sección transversal.

Las mas usuales son de 1/4 de pulgada de diámetro y de 3/8 de pulgada de diámetro.

Se fabrican a partir de moldes hechos de aluminio o yeso, en algunos casos, se hacen los moldes con "silicón". *fig. 35*

la composición de la cera para la fabricación de coladas, varía dependiendo de las costumbres

de cada taller, existen lugares como -ya se indicó- donde se prepara la cera para coladas con un exceso de brea, que les imparte rigidez y se toman quebradizas, condición que favorece la fragmentación al momento de manipularlas, para adherirlas a la pieza de cera. tambien, se pueden fabricar con cera sin aditivo alguno e igual proporcionan un excelente servicio.

En la fabricación de coladas, insistimos, debe buscarse principalmente, que la cera se evapore sin dejar residuo alguno, puesto que cualquier desecho no volátil, obstruiría irremediamente los canales por donde circulará el metal fundido. La colocación de coladas debe concebirse como un auténtico sistema hidráulico o red de tubería, en torno de la pieza de cera, *fig. 36* pues cumplirá la importante función de distribuir el líquido metálico en las cavidades dejadas por la cera al evaporarse.

Otra función muy importante que desempeñan las coladas, es la de conducir al exterior del molde de fundición los gases y el aire que desplaza el líquido metálico al llenar los espacios que otrora ocupaba la cera.

Se debe analizar cuidadosamente la forma de la pieza de cera, con objeto de determinar la posición en que se colocará, para recibir el metal

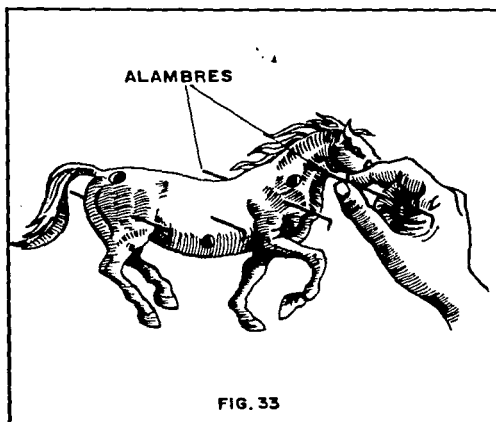


FIG. 33

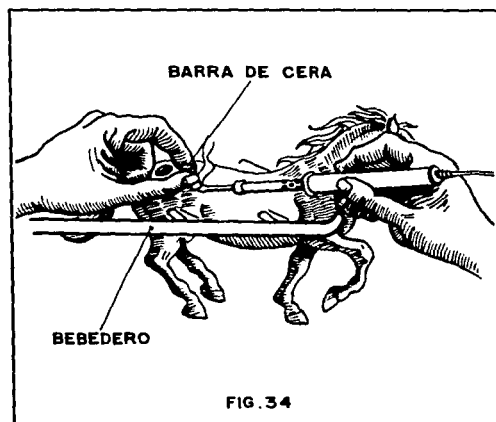
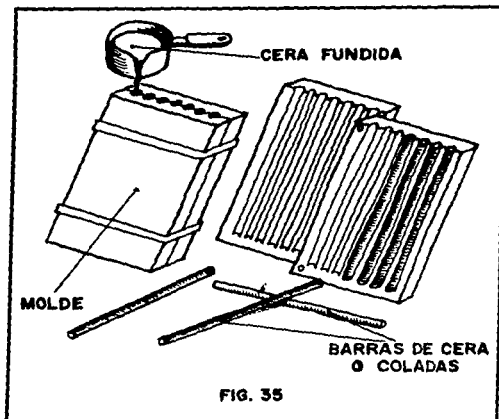


FIG. 34



fundido y paralelamente a esto, se decidirá la distribución de coladas,³⁸ que debe incluir además, el canal de alimentación o "bebedero", consistente en una varilla de cera, por lo general mas gruesa que las coladas. En uno de sus extremos, lleva unido un vaso de poliestireno expandido, que servirá para obtener la cavidad de

38 OP. CIT. MANUAL DEL FUNDIDOR DE METALES... PAG. 244

vertido o "mazarota" en el molde de fundición. A esta cavidad se le conoce en los talleres de fundición artística como: "Coladón", el otro extremo del bebedero va unido a la pieza de cera. fig. 37, 38

Es de gran importancia tener presente, que el sistema o red de coladas, va a depender de la colocación de el bebedero o canal de alimentación, debido a que el metal líquido penetrará en el molde de fundición por este conducto.

Al colocar las coladas es estrictamente necesario, prever la circulación de el flujo metálico con miras a evitar en lo posible los atrapamientos de aire, que impidieran un llenado completo del molde. Es frecuente que esto ocurra en las partes superiores del mismo, determinadas por la posición en que se coloque la pieza al sumergirla en la mezcla refractaria, pues aquí es donde se forma una bóveda en el molde, después de que éste se ha sometido a la acción del calor, fig. 39 con objeto de evacuar la cera, como ya hemos dicho.

Ante la mínima sospecha de que alguna protuberancia de la pieza de cera, pueda ocasionar el problema de aire atrapado en una bóveda, se

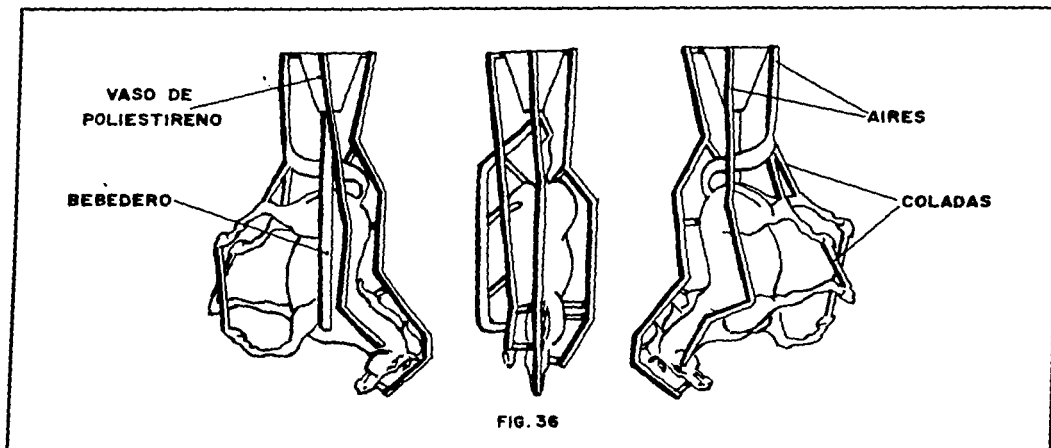
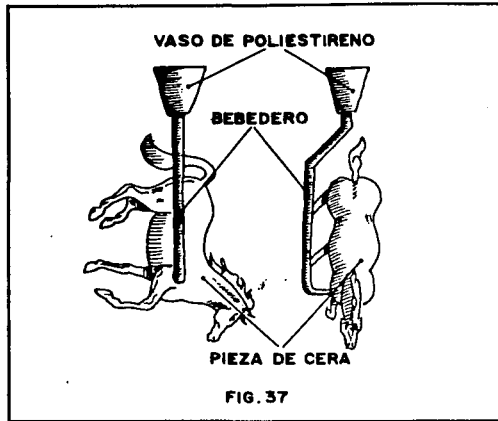
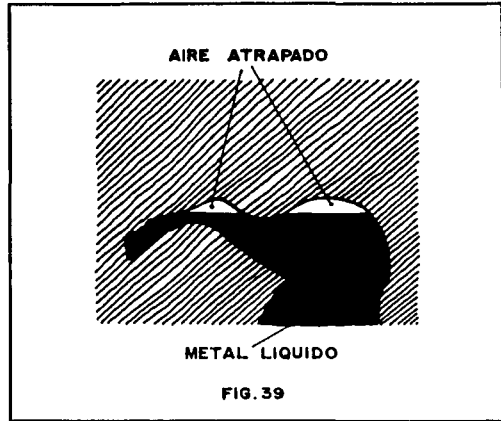
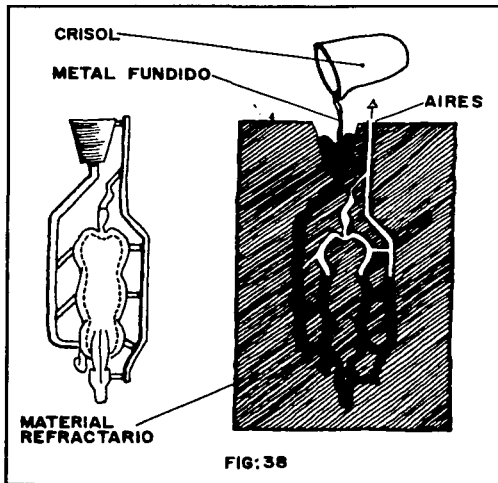


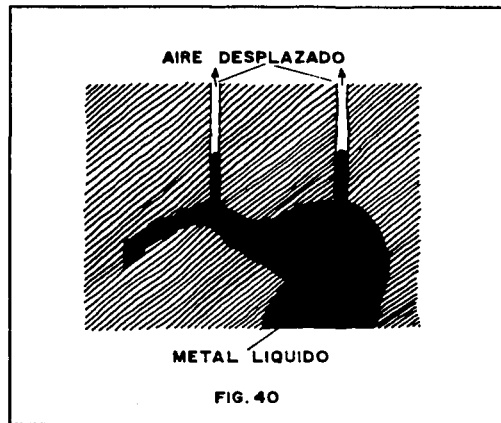
FIG. 36



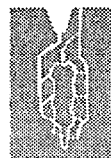
debe colocar una barra de cera o colada, conectándola a alguna otra colada aledaña, o en su defecto usar una barra de cera, lo suficientemente larga, como para salir del molde de fundición, de esta manera se obtendrá posteriormente un canal, que servirá a guisa de



una chimenea, que permita la salida del aire atrapado, al exterior del molde. A estos conductos hacia el exterior, *fig. 40* se les conoce vulgarmente como: "aires". En algunos casos, se colocan también, barras de cera, como prolongaciones hacia el exterior del molde, en el sentido contrario a los "aires", y entonces se les conoce como "escurrideras".



CAPITULO VI OBTENCION DEL MOLDE DE FUNDICION



Después de que se ha resuelto el problema de la colocación de coladas, *fig. 41* se procede a la obtención del molde de fundición, que consiste en un cilindro hecho con una mezcla refractaria, compuesta por arena sílica, yeso para moldear y agua. En el interior de este cilindro se encuentra encapsulada la pieza de cera con las coladas, y su principal función es la de recibir el metal en estado líquido, después de que se ha sometido a la acción del calor u horneado, con objeto de evacuar la cera de la pieza, como ya se ha mencionado antes.

Para la obtención del molde de fundición, se procede de la siguiente manera: se toma una lámina lisa de plástico poliéster (reforzado con fibra de vidrio), de forma rectangular y se enrolla para hacer un tubo, el cual se ata con uno o varios alambres a manera de abrazaderas, *fig. 42* se asienta en el suelo y se rodea la parte asentada con arena húmeda o en su defecto con tierra igualmente húmeda, con objeto de sellar la parte inferior del tubo y habilitar un recipiente que contenga la mezcla refractaria.

En los talleres de fundición, se conoce como "picadizo" o "picadillo" a la mezcla refractaria de arena y yeso. Las preparaciones de "picadizo" varían según la costumbre de cada taller, la

proporción mas empleada es la de dos partes en volumen de arena sílica por una parte de yeso, con esta proporción se obtiene un molde de fundición lo suficientemente permeable, capaz de adsorber los gases, producto de el contacto entre el metal fundido y las paredes interiores del molde, así como los gases que se liberan del metal al momento de la solidificación.

En muchos talleres se recicla el "picadizo", procedente de moldes de fundición usados anteriormente, incorporándose éste a nuevas mezclas en proporciones de hasta el 50% en volumen.

Sin embargo, esta práctica se debe hacer con discreción ya que afecta la consistencia del molde de fundición, pues el "picadizo" ya usado, modifica la cristalización del nuevo. A pesar de que el "picadizo" usado se ha sometido a la calcinación durante el horneado del molde de fundición, (esto hace que el yeso pierda parte del hidrógeno) éste no adquiere la solidez del "picadizo" nuevo.

Cuando se ha dispuesto la lámina de plástico atada y sellada con arena húmeda por la base, se toma un balde o cubeta con agua y se agrega poco a poco la mezcla de arena sílica y el yeso, de la misma manera que se hacen las preparaciones ordinarias para modelar con yeso. *fig. 43*

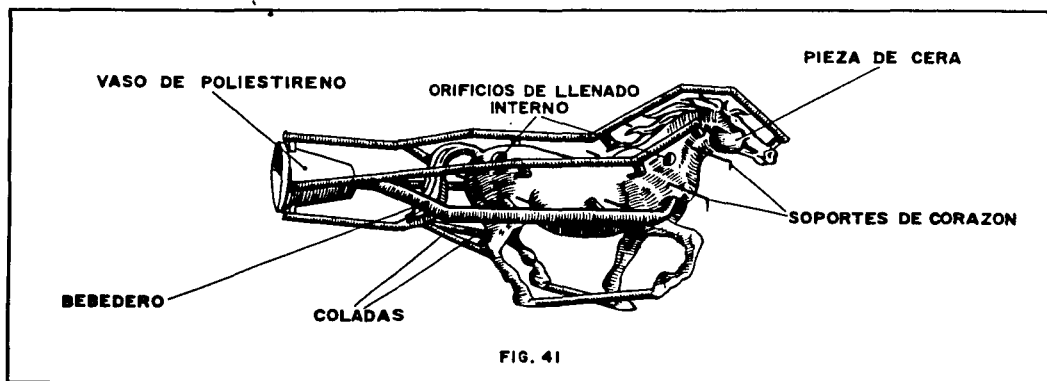
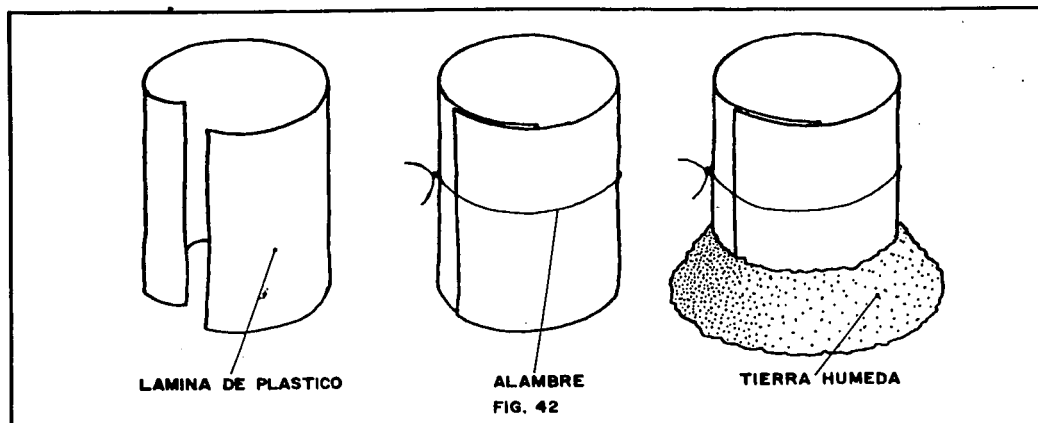


FIG. 41

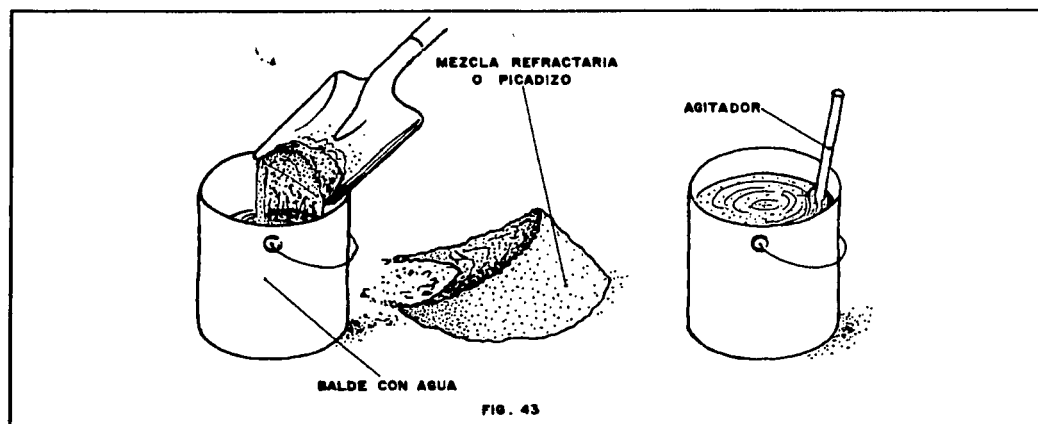


El mezclado debe hacerse de manera cuidadosa a fin de evitar en lo posible la formación de grumos o bolas de "picadizo" no humectado.

Cuando se hubo incorporado completamente el yeso con la arena sílica y el agua, se vierte el contenido del balde en el tubo de lámina, previamente preparado como ya se indicó, e inmediatamente se sumerge, lentamente la pieza de cera con las coladas. *fig. 44*

La inmersión se debe hacer con mucho cuidado ya que en este momento es muy factible que alguna colada se fracture. Debe comprenderse que en tal contingencia no es posible dar marcha atrás.

La pieza debe sujetarse y mantenerse inmóvil dentro de la mezcla refractaria hasta que fragüe.



Se debe insistir en la importancia de efectuar la inmersión lo más lentamente posible, por que de no hacerse así, habrá atrapamientos de aire, que serán registrados por la mezcla refractaria, como diminutas cavidades esféricas que constituirán, posteriormente, auténticas esferas pequeñas, adheridas a la superficie de la pieza de bronce, muy difíciles de eliminar.

Es importante señalar, que la cantidad de mezcla refractaria o "picadizo" preparada, debe ser suficiente, con objeto de garantizar que el volumen cubrirá por completo la pieza de cera, junto con las coladas y sobre todo, prestar especial atención al vaso de poliestireno, pues este, debe permanecer sumergido en la mezcla refractaria, ya que dará forma a la cavidad de vertido o "coladón", como ya se ha dicho.

Después de que la mezcla refractaria haya alcanzado su máxima temperatura exotérmica, se procede a desatar la lámina de plástico poliéster, obteniéndose de esta manera el cilindro con la pieza de cera en su interior. *fig. 45*

En algunos talleres de fundición se conoce al molde de fundición como "cilindro" o "pilón" y al proceso para su elaboración como: "envolver la cera".

En este punto el molde de fundición se encuentra en condiciones de someterlo al horneado o en su defecto, puede almacenarse, con la ventaja de que perderá humedad, condición que favorece el horneado ya que la cera se evapora mas rápidamente.

Es necesario insistir en la importancia de lograr la condición de permeabilidad o porosidad en el molde de fundición, que va a depender principalmente de la cantidad de agua con que se mezcle el "picadizo", pues en tanto más agua contenga la mezcla, más inconsistente será el molde, favoreciendo la permeabilidad del mismo.

Se debe tener presente que el "picadizo" mezclado con agua debe ser lo suficientemente fluido para penetrar por todas las cavidades de la pieza de cera, a fin de lograr un excelente registro de la topografía, de la pieza que se desea vaciar en bronce. Por lo antes expuesto, parecería que el exceso de agua será siempre deseable al momento de la elaboración del molde de fundición, pero se deben mencionar los inconvenientes de tal situación: Recuérdese que el molde de fundición se someterá a la acción del calor con objeto de desalojar la cera contenida en él y ocurre que cuando el molde ha fraguado con

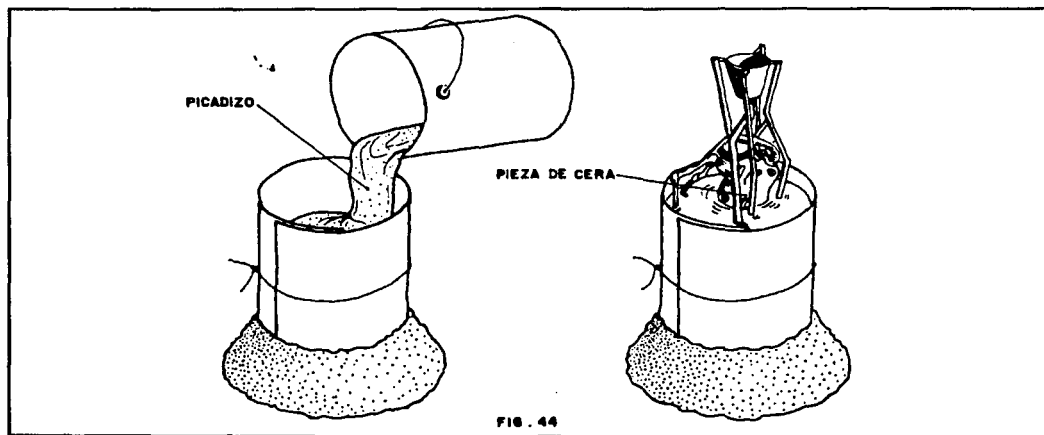


FIG. 44

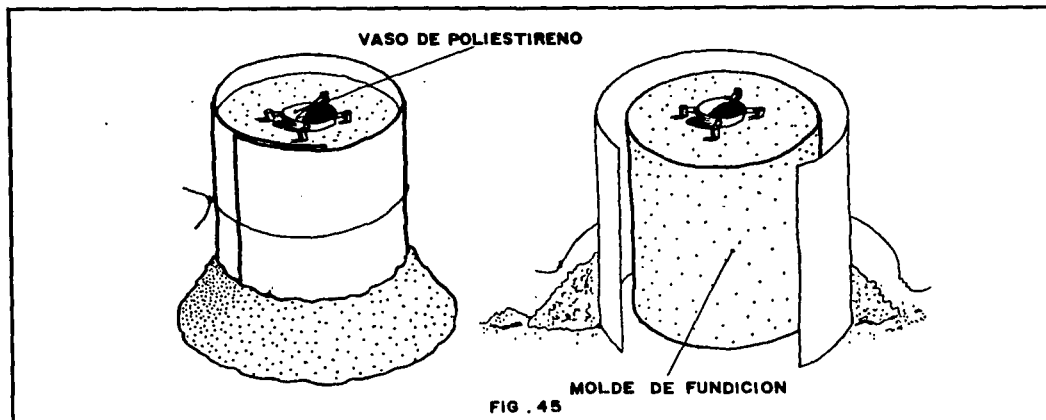


FIG. 45

exceso de agua, éste va a sufrir pequeñas fracturas durante su horneado, debidas entre otras cosas, a la inconsistencia que ya hemos señalado.

Es de suponer que un molde con fisuras, dará como resultado una pieza de bronce con un considerable número de defectos, pues al momento de llenar el molde con metal líquido, éste se introducirá por estas fisuras, originando una pieza con excedentes de metal en forma de aletas o crestas, que después se habrán de retirar con cincel y martillo. En los talleres de fundición se conoce vulgarmente a este defecto como "cortinas" o "aletas"

Otro inconveniente que deriva de la falta de cohesión en el fraguado, es el de obtener un molde de fundición deleznable, con tal deficiencia, el torrente de metal fundido erosionará con facilidad las paredes interiores del molde, ocasionando que se borren, por así decirlo, los detalles delicados, que han quedado impresos en el interior del molde.³⁹

La inconsistencia del molde de fundición, dificultará el manejo del mismo, de manera que se deben extremar las precauciones a fin de evitar que éste se disgregue o desmorone al momento de transportarlo, del lugar donde se horneó, al sitio donde recibirá el metal fundido.

Si por alguna circunstancia originada, ya sea por inconsistencia del molde, o mal manejo, después del horneado (algún movimiento brusco), llegase a ocurrir un derrumbe en el interior del molde, el material desprendido constituirá un tapón en el sistema o red de tuberías dejadas por las barras de cera o coladas, esta contingencia ocluirá la circulación del torrente metálico, impidiendo un llenado completo del molde.

Afortunadamente se puede aumentar la resistencia del molde de fundición, adicionando un material de refuerzo, como la fibra de vidrio desmenuzada, al momento de hacer la mezcla de "picadizo" con agua. La fibra de vidrio tiene la propiedad de resistir el calor del horneado. También se usa en algunos casos, una estructura de metal desplegado o tela de alambre para gallinero, observando esta precaución, se podrá manejar con más confianza el molde de fundición, después de su horneado.

CAPITULO VII HORNEADO DEL MOLDE DE FUNDICION

Como ya se ha hecho mención, el horneado tiene por objeto desalojar el material fusible o cera, contenida en el molde de fundición, para que, lograda la total evacuación de cera, este reúna las condiciones necesarias para recibir el metal líquido, ocupando el espacio que en otro momento ocupaba la cera.

El acto de exponer al calor u horneado al multicitado, molde de fundición, se le conoce de manera vulgar, como: "Quema de cera" o "cocer el pilón", y se lleva a cabo en un horno especial, que se construye expreso, al derredor del molde

molde de fundición, levantando las paredes sin argamasa, pero observando que los tabiques asienten unos con otros y se equilibren, para evitar que se colapsen.

Al momento de la construcción del horno, para la "quema de cera", se deja un orificio en la base del mismo, con el objeto de introducir el quemador de gas, que proporcionará el calor necesario para lograr la evaporación de la cera.

fig. 47

Se debe cuidar que, durante la colocación de los tabiques al derredor del molde de fundición,

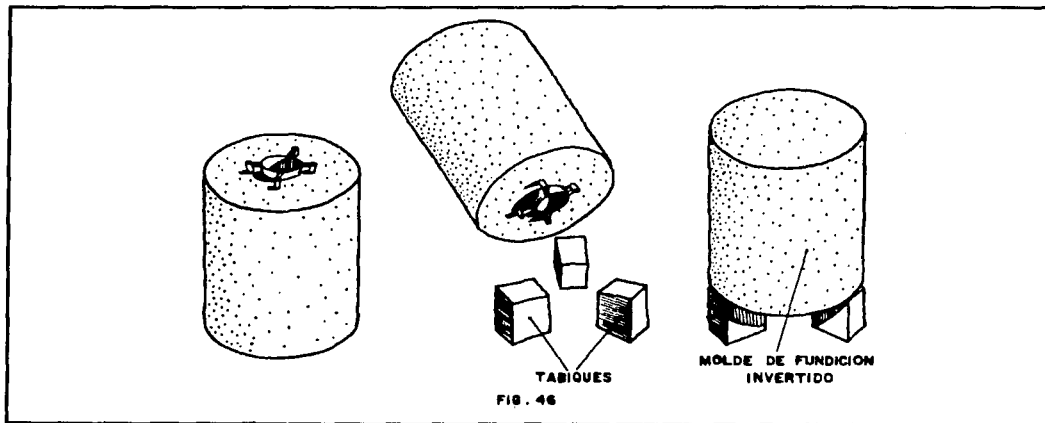


FIG. 46

de fundición, para lo cual se procede de la siguiente manera: Después de que la temperatura de reacción por el fraguado del "picadizo" ha disminuido, el molde de fundición se traslada al lugar donde se va a hornear y ahí se invierte, de manera que la cavidad de vertido o "coladón", se ubique hacia abajo, y se sustenta o calza con tres pedazos de tabique, de manera que sobresalga del nivel del suelo, cuidando que el "coladón" no se obstruya con alguno de los fragmentos de tabique que sirven de apoyo. fig. 46

El tabique usado normalmente, es el que se conoce como: "tabique de barro cocido" o "tabique rojo", y se coloca cuidadosamente, en torno al

exista un espacio equidistante entre el molde y la pared interior del horno, ya que por éste espacio circulará la flama procedente de la fuente de calor. fig. 48 Esta condición es estrictamente necesaria, para el buen funcionamiento del horno, pues garantizará una distribución uniforme del calor.

Cuando las paredes levantadas han alcanzado la altura necesaria como para cubrir el molde de fundición (de preferencia ligeramente más arriba) se colocan unas barras o varillas de metal en la parte superior del horno, que se asientan en los tabiques, a manera de un empujillado, que soportará el techo del horno, fig. 49 En este momento se coloca un tubo de



fierro no menor de 3 pulgadas de diámetro, por unas 16 pulgadas de longitud, sobre el emparrillado y se procede a colocar encima de éste unos tabiques de manera que cubran la parte superior del horno, como una techumbre. Posteriormente, se procede a sellar los orificios en el horno, con lodo o una mezcla de "picadizo" de moldes anteriores con agua. Preferentemente se debe recubrir por completo el horno, con el lodo o el "picadizo" humectado, como se haría en un enjarre, de ésta manera se evitan las fugas de calor en el horno. *fig. 50*

El tubo descrito anteriormente, cumplirá la importante función de una chimenea, ya que por este conducto, escaparán los gases, producto de la combustión de la cera, así como el vapor de agua del molde de fundición. Esta chimenea permitirá, además, establecer el movimiento en espiral ascendente de la flama, condición necesaria e imprescindible, que debe cumplir el horno, para distribuir de manera uniforme el calor.

Como ya se indicó, el combustible que normalmente se usa para la "quema de cera" es el gas butano, de uso doméstico, y el artefacto usado para inflamar el gas, opera con el mismo principio de los mecheros de Bunsen, se le conoce como "quemador" y éste se introduce en el orificio in-

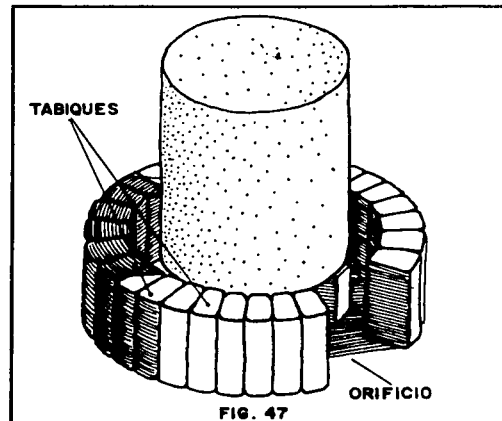


FIG. 47

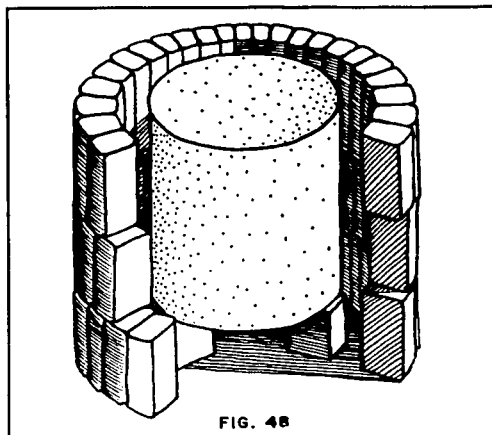


FIG. 48

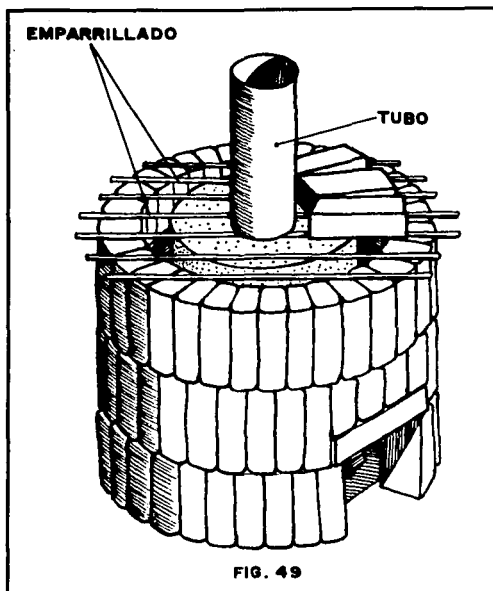
ferior del horno, de modo que la flama se dirija tangencialmente a las paredes del mismo.

La flama debe ser regulada a fin de evitar en lo posible un fuego intenso (sobre todo al principio), de no hacerse así el molde sufrirá serios daños por el exceso de calor, puesto que se corre el riesgo de que la cera entre en estado de ebullición, dentro del molde, y éste se erosione por tal motivo.

Otro aspecto a considerar es el choque térmico, debido también, al exceso de calor, que va a provocar pequeñas fisuras en el molde, originando defectos como las "crestas", "aletas" o "cortinas" de las que ya hemos hablado.

El tiempo necesario para el horneado del molde de fundición es variable, y va a depender de algunos factores, como: La dimensión de la pieza de cera, la cantidad de cera usada, la composición de la misma, el espesor del molde, la eficiencia del horno, e indudablemente la potencia calorífica de la flama, determinada por la mezcla gas-aire efectuada por el "quemador".

Es muy importante señalar, que la "quema de cera" u horneado, es la parte del proceso a la "cera perdida" mas importante, que requiere de toda la atención del fundidor, pues de la vigilancia



y cuidado que se observe durante el tiempo que dure el horneado, dependerá el éxito en la obtención de una pieza de bronce con el menor número de defectos inherentes a la fundición.

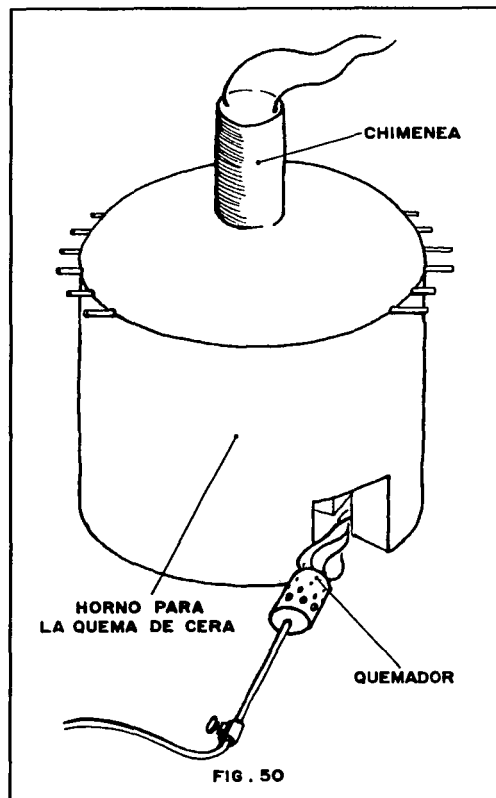
Durante el horneado se debe observar con frecuencia la cavidad de vertido o "coladón", lo cual se hace acercando un espejo al orificio inferior, y se mira por reflexión, con objeto de captar el momento en que los últimos residuos de cera, escapan al exterior del molde de fundición en estado gaseoso, que debido a la temperatura que ha alcanzado el molde dentro del horno (el calor que absorbe el molde es tal, que se torna incandescente y adquiere el color rojo vivo), se manifiestan en una pequeña flama.

Cuando la flama se ha extinguido por completo, indicará que la cera se ha evaporado, y el horneado esta próximo a terminar.

En ciertos talleres de fundición, debido a la experiencia, de los operarios, se ha desarrollado

la habilidad para identificar indicios que les permiten determinar el momento en que la cera ha sido desalojada del molde de fundición, por ejemplo: Observan la chimenea del horno y concluyen por la densidad del humo, cuando el molde de fundición ha perdido la cera que contenía.

Pero es oportuno señalar que esto ocurre cuando han transcurrido por lo menos 12 horas o más de horneado, habiendo casos en que la "quema de cera" puede durar mas de 24 horas, y hasta 48 horas.





sin embargo en los talleres de fundición, se prefiere un horneado lo mas rápido posible, con objeto de reducir costos de producción, en detrimento de la calidad de la pieza obtenida.

Después de que se tiene la certeza de que la cera ha sido desalojada del molde de fundición, se retira el quemador, y se tapa el orificio inferior con un tabique, esto con objeto de evitar las corrientes de aire, que provocarían un choque térmico por enfriamiento brusco (ya se han indicado los efectos que produce en el molde de fundición los cambios violentos de temperatura) y se espera a que la temperatura disminuya, lo cual ocurre en un tiempo relativamente largo (otras 12 horas), transcurrido este tiempo, se procede a deshacer el horno, retirando primeramente los tabiques que descansan en el emparrillado y sirven de techo, operación que se hace con extremo cuidado, para evitar el derrumbe de algún tabique que pudiera golpear el molde. *fig. 51*

Justo después de que el horno ha sido desmantelado, el molde de fundición se traslada al lugar donde recibirá el metal fundido. Se debe tener presente que después del horneado, el molde ha sufrido significativos cambios, no solo ha perdido la cera que contenía (de aquí la denominación de "cera perdida") sino que además su solidéz y consistencia han disminuido considerablemente, por tal motivo se deben extremar las precauciones en su manejo.

En algunos talleres el molde se envuelve en hojas de papel periódico y se ata con cordeles con el propósito de evitar su desmoronamiento, y poder trasladarlo al sitio donde recibirá el metal.

Es importante consignar el hecho de que en este momento, el molde es extraordinariamente higroscópico, es decir, tiene la capacidad de absorber humedad del medio ambiente, ésta contingencia debe evitarse en lo posible, de no hacerse así, el molde perderá permeabilidad y recuérdese que la capacidad de absorción de gases^{40, 41}

es una condición imprescindible en el molde de fundición. Por tal motivo, el molde de fundición, debe usarse inmediatamente después de que ha sido extraído del horno que lo albergaba. De manera que los preparativos para fundir el metal, se harán de manera casi simultánea.

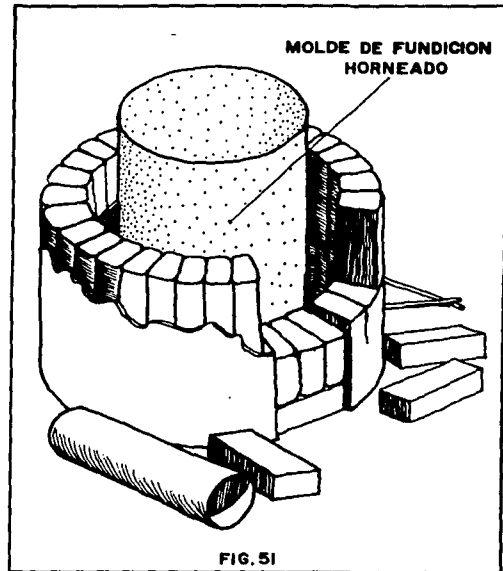


FIG. 51

40 OP. CIT. FUNDICION PARA INGENIEROS... PAG. 49

41 OP. CIT. MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACION...
PAG. 240, 241

CAPITULO VIII

COLADO DEL METAL

Para que el molde de fundición pueda recibir el metal fundido, *fig. 52* este se rodea de arena ligeramente húmeda y se compacta esta al derredor del molde, lo cual puede hacerse de dos maneras: ya sea que se introduzca en una excavación que se practica en el suelo, *fig. 53a* lo suficientemente amplia, como para hacer descender el molde, de modo que sea factible su colocación en el foso, sin poner en riesgo la integridad del mismo y donde la profundidad de la excavación sea menor que la altura del molde, de modo que el "coladón" o cavidad de vertido se ubique ligeramente arriba del nivel del suelo. Después se procede a regresar la tierra, ligeramente húmeda a la excavación, donde se encuentra el molde, apisonando la tierra en su entorno.

Durante esta operación se debe cuidar, que por ningún motivo se introduzca tierra en la cavidad de vertido o en los orificios dejados por las coladas, lo que se evita cubriendo con un papel o cartón la parte superior del molde, en tanto se hace la compactación de la tierra húmeda.

La otra manera de preparar el molde, consiste en colocar una lámina metálica de forma rectangular, lo suficientemente grande, como para hacer un contenedor cilíndrico, donde pueda introducirse el molde y rodearse de arena húmeda y después compactarse, *fig. 53b*

El apisonado de la arena húmeda en torno al molde, se hace normalmente con una barra metálica, en los talleres de fundición se conoce vulgarmente a este acto como "apretar el cilindro" y su función es la de evitar que el molde ceda ante la presión que ejerce el torrente metálico sobre las paredes interiores del molde, impide además la fuga de metal en el caso de existir una fisura.

Es importante insistir en el punto referente a la absorción de humedad por el molde de fundición, donde ésta situación debe evitarse, por lo que el apisonado o compactado de arena debe hacerse muy próximo al momento del vertido del metal, pues se debe reducir lo más posible el

tiempo de contacto del molde de fundición con la arena húmeda; en algunos talleres se usa un material aislante entre el molde y la arena húmeda, tal como una bolsa de polietileno.

El apisonado de arena o "apretado del cilindro" es una operación sumamente delicada, que exige especial cuidado, pues un apisonado excesivo, ejercerá tal presión, que puede hundir la pared del molde, provocando un derrumbe en el interior de éste, con consecuencias desastrosas; por el contrario, un apisonado insuficiente, no podrá contener la presión del líquido incandescente en el interior del molde y éste se abrirá.

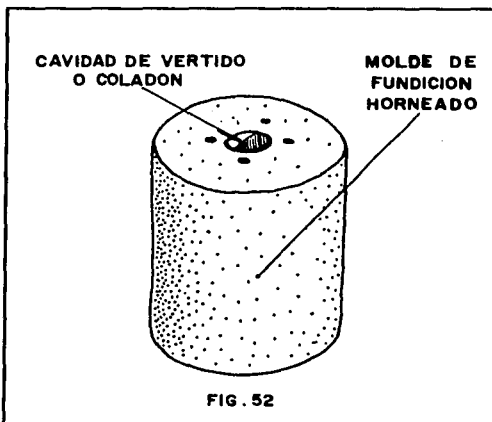
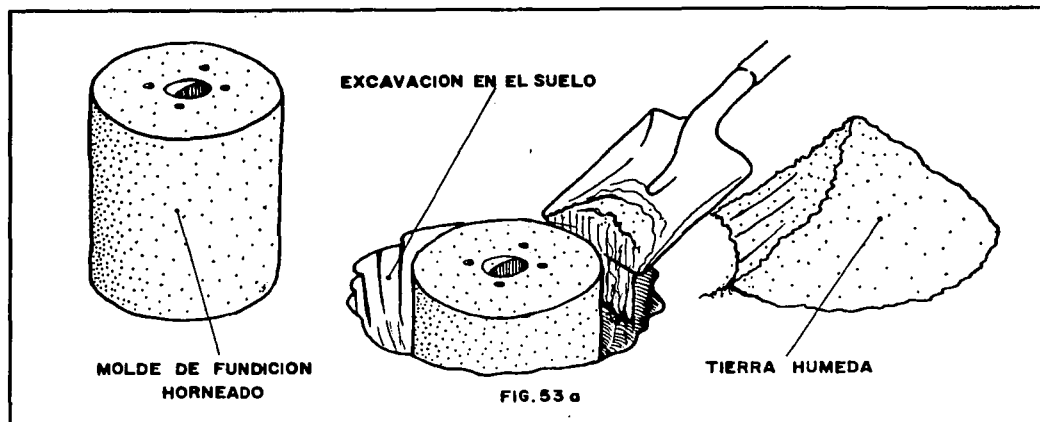


FIG. 52

Una vez que se ha hecho el apisonado de arena húmeda al derredor del molde, con las debidas precauciones, éste se encuentra en condiciones de recibir el metal fundido.

En los talleres de fundición artística, se funde el bronce normalmente en "horno de foso", se llama así por que consiste en una excavación en el suelo, donde las paredes de la misma se recubren con tabiques refractarios, resistentes al choque térmico, que dan forma al hogar o cavidad donde se introduce el crisol, que es el recipiente, que contendrá el metal en estado líquido. En la parte inferior del horno hay un orificio por donde entra la boquilla del quemador, que efectúa la



combustión de la mezcla aire-combustible, para proporcionar las calorías necesarias, que van a cambiar el estado físico del metal.

El bronce funde a los 900°C, sin embargo se necesita un excedente de calor, para compensar las pérdidas,⁴² el horno debe garantizar éste excedente.

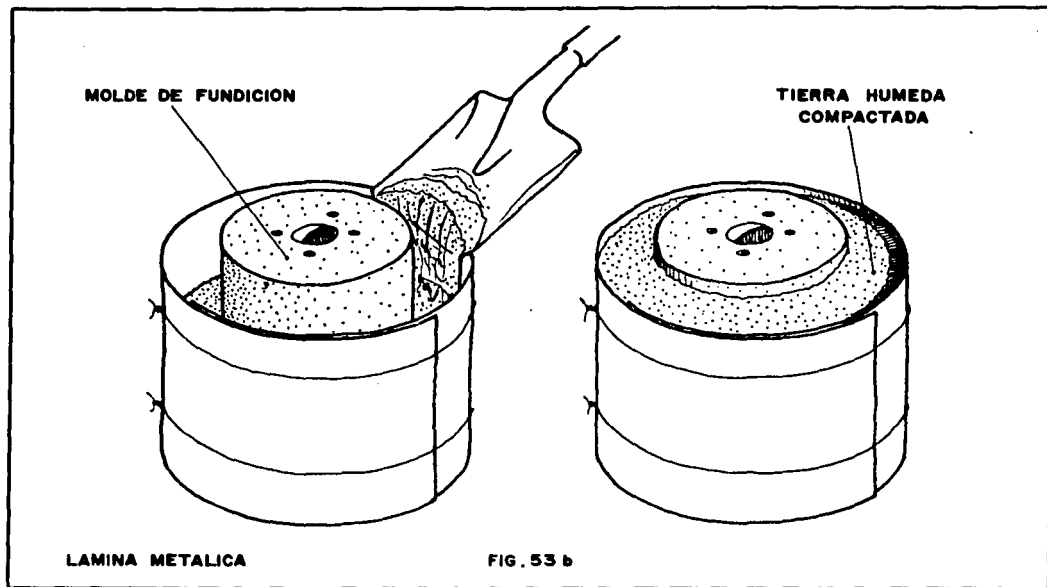
La parte superior del horno se cubre con una tapa circular de material refractario, que posee dos asas que servirán para sujetarla; en la parte central de esta tapa se localiza un orificio circular que sirve para arrojar al exterior del horno los gases producto de la combustión, sirve además para introducir los pedazos de metal que habrán de fundirse, pues éste orificio se ubica justo arriba de la boca del crisol. *fig. 54*

El combustible que se usa en la fusión del metal es por lo general, el gas butano, sin embargo, en muchos talleres se emplea el petróleo diáfano, que presenta menos riesgos en su manejo, además que los hornos que operan con este combustible son menos ruidosos que los que operan con gas, pero por otro lado, los hornos que funcionan con petróleo tienen el inconveniente de arrojar mas desechos volátiles o contaminantes.

Como ya se ha indicado, la selección de una buena cera, que no deje residuos en el molde, así como la acertada colocación de coladas y "aires", un horneado correcto, un cuidadoso manejo del molde, aunados a la buena capacidad de absorción de gases del mismo, así como un apisonado cuidadoso, son condiciones estrictamente necesarias, para lograr una buena pieza de fundición esto es, con el menor número de defectos. Sin embargo toda esta serie de cuidados no son suficientes, pues hay que agregar una condición más, de trascendental importancia: La obtención de un metal fundido, de buena calidad, que reúna ciertas características, como temperatura adecuada, buena fluidez, limpieza y la menor cantidad de gases disueltos en el líquido metálico.

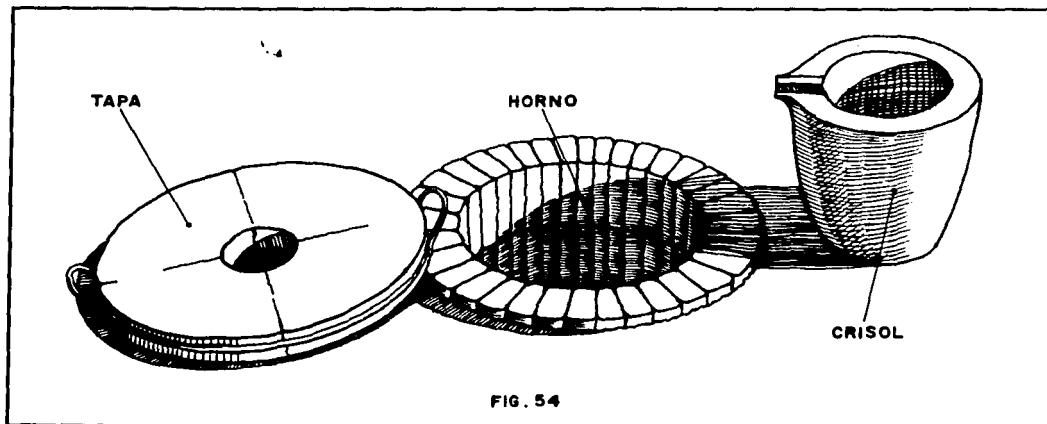
Para la fusión del metal se procede de la siguiente manera: Se introduce el crisol en el horno, se asienta en su interior y se carga con el metal, junto con éste se agregan pedazos de vidrio común y corriente. La cantidad de metal dependerá del tamaño de la pieza que se desea fundir, sin embargo se debe tener presente que es necesario un excedente, por la cantidad que se distribuirá en el sistema o red de coladas, así como en la cavidad de vertido o "coladón".

⁴² JANAPETOV, M. SOLDADURA Y CORTE DE METALES
ED. MIR MOSCU 1977 PAG. 20



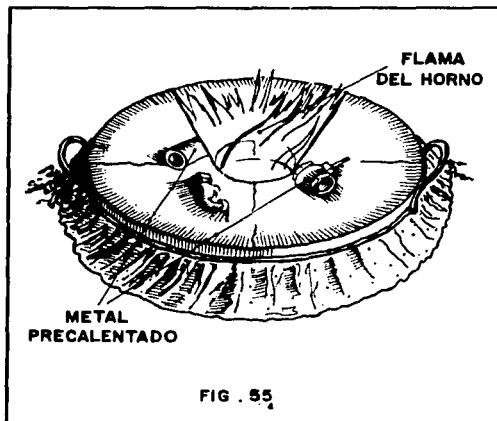
En los talleres de fundición se usa normalmente la chatarra de bronce, que se adquiere en los depósitos de desperdicios indus-

triales, ésta chatarra deberá estar limpia y seca. La labor de limpieza consiste en eliminar residuos de grasa, así como de fragmentos de otros metales.



Es frecuente que debido al origen del bronce, se encuentren fragmentos de tubo roscado de fierro galvanizado, introducidos en las roscas de las válvulas de bronce, si estos fragmentos de metal ferroso no son eliminados, contaminarán el bronce, modificando la fluidez del mismo.

Una vez que se hubo seleccionado la chatarra y cargado el crisol, se coloca la tapa del horno en su sitio y se procede a sellarla con lodo, al derredor de ésta, acto seguido, se enciende el turboquemador, que consiste en un motor eléctrico que hace girar una turbina cuyas aspas en movimiento, cortan el aire, el que es conducido y concentrado



en un tubo, en cuyo interior se encuentra una esprea conectada a un conducto que suministra combustible. Dentro de este tubo, se efectúa la mezcla combustible-aire y es expulsado a través de una tobera, hacia el hogar del horno, donde se realiza la combustión.

Posteriormente, se regula el suministro de combustible, con la corriente de aire, de manera que se produzca la llama en condiciones ligeramente oxidantes, es decir, que la cantidad de oxígeno sea mayor que la cantidad de combustible, lo cual se sabrá por el color y la luminosidad de la llama, que se desprende del

orificio central de la tapa del horno, así como de la menor cantidad de residuos humeantes de hollín en la parte superior de la flama.

El fundidor debe revisar constantemente por el orificio de la tapa el interior del crisol, para ver cuando se ha fundido la primera carga de metal, pues recuérdese que en el estado líquido, el metal ocupa menor espacio en el crisol, debido a su mejor distribución en el recipiente, que en el estado sólido.

Una vez que el primer metal ha fundido, se introducen los pedazos de chatarra, previamente calentados, para evitar pérdidas de calor dentro del crisol y se solidifique el metal ya fundido. El calentamiento de la chatarra, se hace colocandola sobre la tapa del horno, fig. 55 donde absorberá calor y después se introduce por el orificio de la misma, cayendo dentro del crisol. Esta operación se efectúa con ayuda de unas tenazas de mango largo para evitar el calor del horno.

Es importante insistir en el precalentamiento del metal al introducirlo al crisol, porque de no hacerse así, el horno proyectará al exterior, peligrosos fragmentos de metal fundido que pueden ocasionar una seria quemadura⁴³ en el operario del horno, o a alguna otra persona que se encuentre cerca. De ahí la importancia de contar con el equipo de protección necesario, como protector facial, guantes de asbesto, así como la ropa adecuada.

La fusión del metal debe hacerse lo más rápidamente posible, debido a que los metales en estado líquido tienen la facultad de disolver gases, como el hidrógeno y el oxígeno, que posteriormente son liberados, al momento de la solidificación del metal, éste es el origen de el defecto en fundición llamado porosidad,⁴⁴ que incide directamente en la calidad de la pieza, de aquí la importancia de fundir en condiciones oxidantes, puesto que la condición reductora de la flama (es decir, menor cantidad de oxígeno y mayor cantidad de combustible) dará un metal

43 OP. CIT. MANUAL DEL FUNDADOR DE METALES... PAG. 290

44 OP. CIT. FUNDICION PARA INGENIEROS... PAG. 89

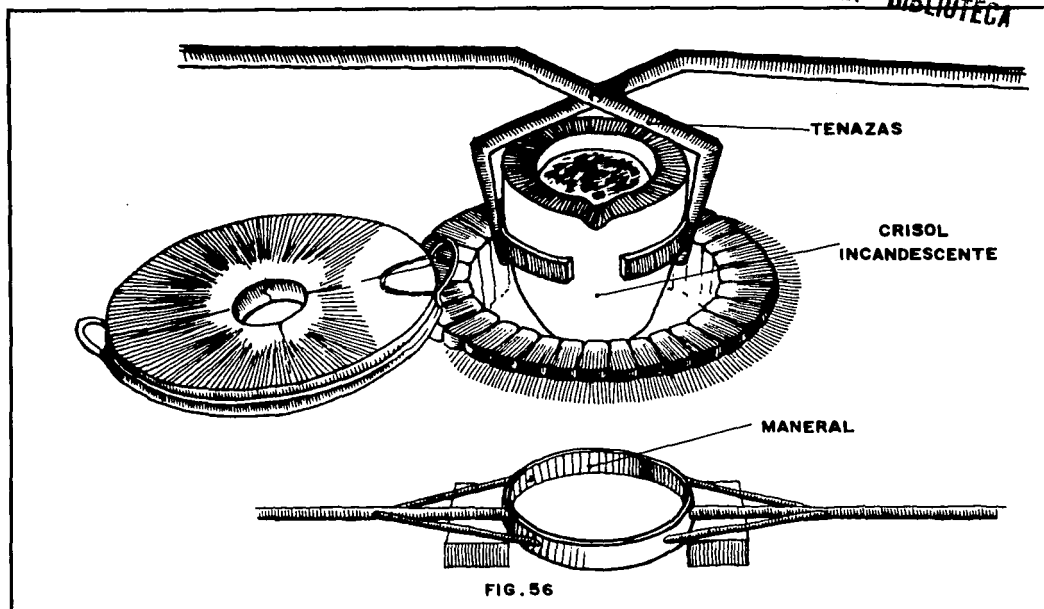


FIG. 56

gaseado, debido al exceso de productos gaseosos que tienen su origen en la combustión incompleta por falta de oxígeno y que serán adsorbidos por el metal.

Por otro lado, es importante recordar que el metal a la temperatura de fusión es atacado por los agentes atmosféricos, promoviendo la formación de óxidos que flotan en la superficie del caldo,⁴⁵ que al solidificarse éste, se constituirán en cascarillas de aspecto desagradable, fuertemente adheridas a la superficie de la pieza, que en metalurgia se conocen como: Ganga o dross.

Por tal motivo se usan cubiertas protectoras, que aíslan el metal de los agresores atmosféricos, como las capas de carbón vegetal molido, para aleaciones de cobre que, sin embargo, son difíciles de retirar al momento de efectuar el vertido del

líquido en el molde; por esta razón está más extendido el uso del vidrio,⁴⁶ puesto que forma en la superficie del líquido candente una nata viscosa, donde se adhieren las impurezas y forma con éstas una escoria que se retira fácilmente con una cuchara metálica.

Con el objeto de facilitar la fusión del metal, se agregan sustancias químicas como el tetraborato sódico, mejor conocido como bórax que es una sal derivada del ácido bórico, que tiene la propiedad de disolver algunos óxidos metálicos cuando se encuentra en estado de fusión, por lo que su principal función consiste en limpiar el metal, formando escorias que sobrenadan en el líquido metálico, éstas sustancias se conocen como fundentes.

La adición de fundentes no debe hacerse antes de que el metal se funda, ya que estos tienen

45 OP. CIT. FUNDICION PARA INGENIEROS PAG. 230

46 OP. CIT. MANUAL DEL FUNDIDOR DE METALES PAG. 290

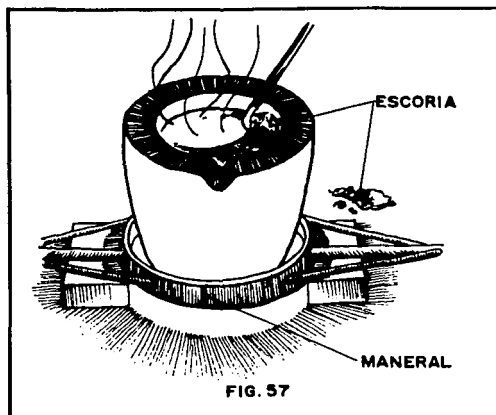


FIG. 57

un punto de fusión mas bajo que el del metal y ejercen una fuerte actividad química sobre el crisol, atravesando las paredes del mismo, deteriorándolo.

Durante la fusión del metal se usa una varilla larga de fierro, que sirve para remover el metal llamada "espetón", operación que se realiza el menor número de veces posible, debido a que durante este acto el metal absorbe gases, además de que el bronce fundido ejerce una actividad corrosiva sobre el fierro, esta circunstancia contamina la aleación, modificando la fluidez como ya se ha hecho mención.

Una vez que el metal ha alcanzado la temperatura adecuada para el vertido, se suspende el suministro de combustible y aire, operación que se hace de manera simultánea, ya que si se suspende primero el aire, el combustible provocará una intensa nube de gases en el interior del horno, debido a la insuficiencia de oxígeno y ya hemos indicado que una atmósfera cargada de gases es nociva para el metal.

Por otro lado, si se suspende el combustible, la corriente de aire que proporciona el turboquemador, enfriará el metal, tal situación disminuye la fluidez del líquido metálico, dificultando el vertido y peor aún; En tal contingencia el metal no llenará los conductos o las secciones delgadas de la pieza.

Pues bien, después de lograr el corte simultaneo de combustible-aire, se procede a destapar el horno, por medio de dos ganchos que se introducen en las asas de la tapa del mismo, operación que se ejecuta entre dos personas, e inmediatamente después, se introducen unas tenazas a la cavidad del horno y se sujeta el crisol con ellas para extraerlo del seno del mismo, *fig. 56* una vez logrado esto, se coloca el crisol en el aro del maneral previamente dispuesto. Acto seguido, se retira la escoria con la cuchara metálica, operación que se hace con cuidado y rapidez. *fig. 57* En seguida se agrega al caldo un trozo de aluminio precalentado, práctica que se realiza con objeto de desoxidar el metal, además de que mejora la colabilidad o fluidez del mismo.

Una vez lograda la limpieza del metal se procede a levantar el maneral, entre dos personas y se dirige el pico del crisol hacia la cavidad de vertido del molde de fundición y con un leve giro del maneral por parte de uno de los operarios, el crisol se decanta sobre la cavidad de vertido, *fig. 58* permitiendo el suministro de metal en el molde, el cual ya se encuentra preparado como se indicó en el capítulo anterior.

La operación de vertido del metal se conoce en metalurgia como "colada" y se realiza de manera muy cuidadosa, asegurando que el chorro de metal sea recibido por la cavidad de vertido sin derramarse, procurando que éste se mantenga permanentemente lleno, es decir, sin interrumpir el suministro de metal, esto es muy importante puesto que proceder de ésta manera, evita la introducción de burbujas de aire,⁴⁷ transportadas por el torrente metálico. De éste modo también se evita la introducción de la ganga o dross que flota en el metal. Si por alguna circunstancia la ganga ha penetrado en el molde, ésta se distribuirá de abajo hacia arriba, debido al ascenso del nivel del metal líquido (recuérdese que la ganga sobrenada en el líquido) y ésta se colocará entre la pared interior del molde y el metal fundido

47 OP. CIT. MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACION...
PAG. 225

impidiendo, que éste tome la forma y textura impresa en el molde. De manera que la cascarrilla, o costra que constituye la ganga al solidificarse, puede alterar por completo detalles delicados que existen en el molde de fundición.

El colado o vertido de metal al molde de fundición se suspende cuando el nivel del mismo, se hace visible en los orificios o chimeneas ("aires"), que circundan la cavidad de vertido pues por estos asoma el metal cuando el molde se ha llenado. Se debe procurar dejar llena la cavidad de vertido o "coladón", con el líquido metálico, pues en la fusión de los metales ocurre un fenómeno interesante: Al elevar la temperatura del metal, este se dilata y al momento de perder calor sufre 3 momentos de contracción,⁴⁸ que son: Primero, la contracción líquida, originada por la pérdida de calor desde el estado líquido al momento de solidificarse. Segunda: La contracción de solidificación, causada por el momento de solidificarse al momento de endurecimiento del metal. Tercera y última: La contracción sólida, causada por la pérdida de calor hasta la temperatura inicial o ambiente.

Es importante insistir en que la operación de extraer el crisol del horno, así como de retirar la escoria y verter el metal en el molde de fundición, se debe hacer lo más rápidamente posible, ya que en todo este tiempo, el metal pierde considerables cantidades de calor, de aquí la importancia de elevar la temperatura del metal, por arriba de su punto de fusión, con objeto de compensar dichas pérdidas.

Por otro lado, es oportuno señalar que el enfriamiento del metal se efectúa primero en las secciones delgadas de la pieza. En las secciones gruesas, el metal permanece líquido en la parte central, de aquí la importancia de dejar completamente llena la cavidad de vertido o "coladón", pues en el proceso de solidificación este suministra metal líquido,⁴⁹ que se encuentra

en la parte central del mismo, llenando los espacios dejados por el descenso del nivel de metal, debido a la contracción o "rechupe". Así se evita una posible falta de llenado en el molde.

Con objeto de ayudar a que el "coladón" cumpla con el cometido de suministrar metal líquido, se debe cubrir éste después de que se ha llenado el molde, con una capa de "picadizo" pulverizado como aislante, que impida la pérdida de calor por radiación.⁵⁰ Después de que el molde de fundición se ha llenado, se vierten los residuos de metal fundido que quedan en el crisol, sobre una lingotera o en su defecto en una cavidad hecha sobre la arena y se procede a limpiar el crisol con una cuchara metálica, rascando en el interior del mismo, para eliminar las costras de escoria que se adhieren a las paredes, ésta operación se realiza cuando éste se encuentra aún

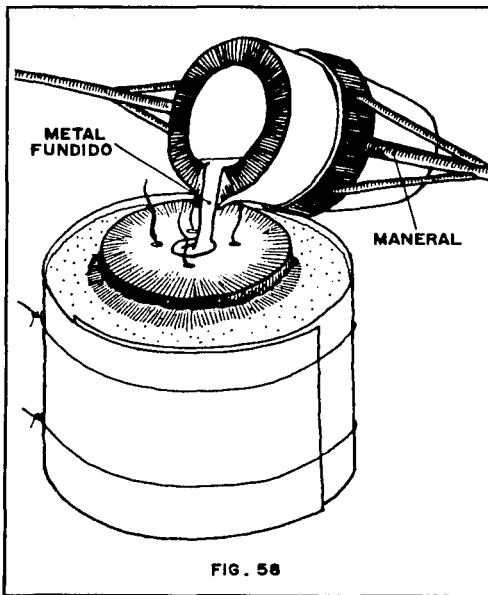


FIG. 58

48 IDEM PAG. 217, 218, 219

49 OP. CIT. MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACION...
PAG. 221, 223

50 LE BRETON, H. DEFECTOS DE LAS PIEZAS DE FUNDICION
TOMO I ED. URMO, BILBAO, 1954 PAG. 80



caliente. Después de la limpieza, el crisol se protege de corrientes de aire, cubriéndolo con un recipiente metálico, esto con objeto de evitar un choque térmico, que puede fracturarlo.

La apertura del molde de fundición o demolición del mismo, se efectúa después de que ha pasado el tiempo necesario para la pérdida total del calor, no solo para facilitar la eliminación del material refractario sino además porque el bronce posee la característica de ser muy frágil cuando se encuentra muy caliente. Esto es debido a que el bronce es una aleación que se compone de más de dos elementos metálicos, donde uno de ellos, el más importante (cobre) posee un punto de fusión más alto que los otros componentes (estaño, plomo, cinc, aluminio) por lo que en el proceso de solidificación, el cobre se consolida primero, mientras que los otros elementos que integran la aleación permanecen en estado líquido hasta que, la temperatura descienda más, esto impide la cohesión interdentífica de la aleación, y es muy factible que se fracture la pieza por un simple golpe.

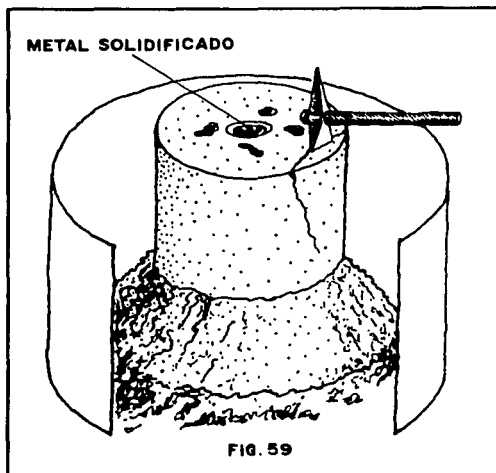
Es necesario esperar a que el metal vertido en el molde pierda el calor, lo que ocurre en un tiempo considerable, puesto que el material refractario que constituye el molde de fundición, es un mal conductor del calor.

En esta actividad se requiere cuidado y paciencia, un acto precipitado puede poner en riesgo y dar al traste con una considerable cantidad de trabajo invertido, así como tiempo y dinero.

CAPITULO IX DESBARBADO

Después de que el molde de fundición se ha enfriado, se desata la lámina que sirve como contenedor del molde en el apisonado de la arena húmeda, y se procede a la demolición del mismo, operación que se ejecuta con una piqueta o un martillo, *fig. 59* cuidando de no lesionar la pieza por un golpe.

Al destruir el molde de fundición, el metal de la pieza se presenta al descubierto, *fig. 60* y en este momento se pueden apreciar algunos defectos producidos por la ganga o dross, pues en las partes donde se ha adherido ésta, el material refractario del molde de fundición, se adhiere en delgadas



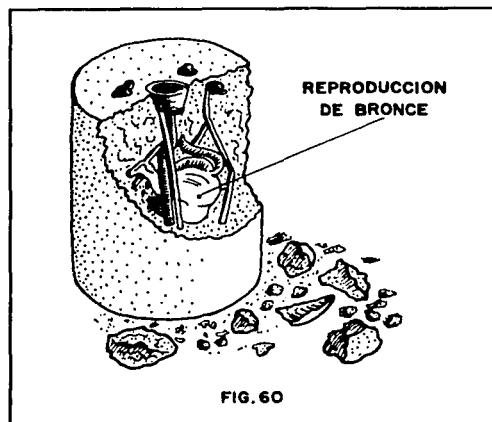
capas, que han de retirarse con una carda o cepillo de alambre, por el contrario, cuando la ganga está ausente, el material del molde se desprende con facilidad de la superficie metálica. *fig. 61*

Acto seguido de que el molde de fundición ha sido demolido por completo se procede al corte de "coladas" (que ahora son de bronce) esta operación se realiza con arco y segueta o con una esmeriladora manual y disco de corte. *fig. 62*

Al cortar las "coladas" se debe buscar la manera de que el corte sea lo más cercano posible

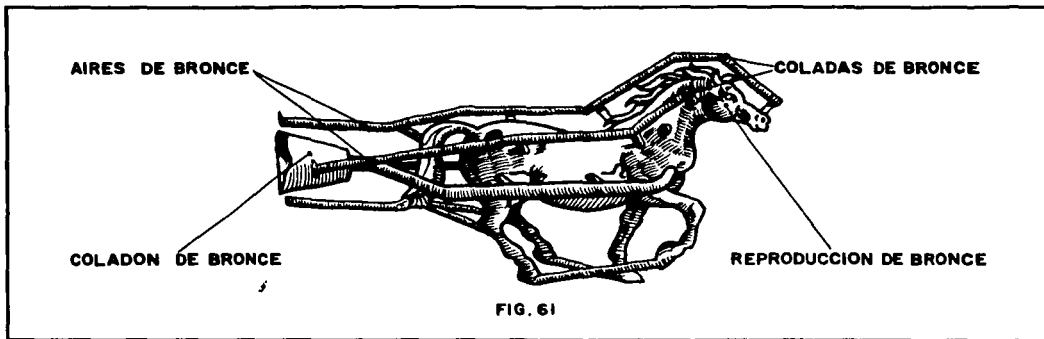
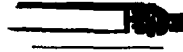
a la superficie de la pieza de bronce, pero sin dañarla, con objeto de disminuir el trabajo de desbaste de metal, pues esta operación se realiza con una lima o con un rectificador, hasta que desaparezca todo indicio de que hubo una prolongación de metal en el punto de unión, entre la colada y la superficie de la pieza. *fig. 63*

Paralelamente al corte de "coladas", de la pieza vaciada en bronce, se extraen los alambres que sirvieron como soportes al "corazón", jalándolos con pinzas por uno de sus extremos para sacarlos. *fig. 64* Por los orificios que sirvieron para que la mezcla refractaria penetrara al inte-



rior de la cera hueca y dió forma al "corazón", se introduce un alambre para deshacer dicho "corazón", el cual sale al exterior de la pieza de bronce por estos mismos orificios en forma de polvo. *fig. 65*

Después se realiza el trabajo de cincelado, que tiene por objeto eliminar las prolongaciones de metal o "cortinas", si las hay, así como desprender de la superficie de la pieza las pequeñas esferas metálicas producto de burbujas de aire atrapadas por la mezcla refractaria. *fig. 66* El trabajo de cincelado es muy laborioso, requiere esmero y cuidado, indudablemente que el metal



debe ser lo suficientemente suave, para facilitar el trabajo, de aquí la importancia de obtener una aleación noble que responda favorablemente.

A todo el trabajo antes descrito, así como el limado de toda aspereza no prevista en la cera, se le conoce en fundición como: "desbarbado". En los trabajos de esta naturaleza es factible que la pieza presente algún defecto, debido a que, como hemos visto existen muchas circunstancias por controlar y por una u otra razón, alguna puede escapar al control del fundidor, por tal motivo es frecuente el uso de la soldadura, que sirve para subsanar algún defecto, si este no es grave.

En los talleres de fundición se usan normalmente el oxígeno y el acetileno para la reparación de pequeños defectos, y como material de aporte se usan barras de latón, se le conoce de manera incorrecta como: "equipo de autógena", el nombre correcto es el de "equipo de óxi-acetileno" (la soldadura autógena es aquella en la que la unión de dos piezas metálicas se realiza por la fusión de sus juntas, sin material de aporte).

También se usa en algunos talleres la soldadura por arco o eléctrica, donde un carbón sirve de electrodo, para formar el arco voltaico, que genera el calor suficiente para fundir el material de aporte o soldadura.

Pues bien después de que se ha efectuado el trabajo de, "desbarbado" en la pieza de bronce,

esta se somete a un baño de "decapado", operación que consiste en bañar la pieza en ácidos, con el propósito de limpiarla, fig. 67 y eliminar las manchas de óxido, producto de la exposición del metal caliente al aire (cuando el molde de fundición se destruye y la pieza no ha perdido totalmente el calor ésta adquiere un color café oscuro o negro por la formación de óxido cúprico), esta es la razón por la que la pieza presenta un aspecto sucio después de salir del molde. La operación de limpieza se realiza normalmente con ácido nítrico de uso industrial, es un trabajo peligroso que requiere extremo cuidado, puede hacerse de dos maneras, una es que se vierta directamente el ácido sobre la pieza, e inmediatamente se lave esta con abundante agua, pues el ácido nítrico ataca fuertemente la superficie del bronce, disolviendo el cobre de la aleación; el estaño y los otros componentes son un poco más resistentes al ácido, por esta razón, después del baño, la pieza presenta un color amarillo blanquecino. La adición de ácido sulfúrico al ácido nítrico modera la enérgica acción de este último sobre el cobre y le ayuda a disolver algunos óxidos, también se usa el ácido clorhídrico, conocido vulgarmente como ácido muriático. Este ataca preferentemente al cinc, por tal razón en algunos bronce y sobre todo los latones, adquieren un aspecto rojizo después del baño, por quedar expuesto el cobre en la superficie de la pieza.

También puede efectuarse el tratamiento de ácidos con un hisopo hecho con tela de algodón, atada a un mango de madera, sumergiendo el hisopo en el ácido, e inmediatamente se frota sobre la pieza, sin embargo este último procedimiento puede resultar peligroso, pues se corre el riesgo de que el hisopo se inflame, por la acción del ácido nítrico sobre el algodón y la madera (nitricación).

Siempre que se trabaje con cualquier ácido, se deben observar las precauciones necesarias y usar el equipo de protección como: Guantes, protector facial, así como mascarilla con filtro de carbón.

La limpieza es necesaria por varias razones, primero si es menester reparar la pieza por algún defecto de fundición, necesita estar limpia para soldarse. Segundo, estando la pieza limpia son más visibles algunos defectos menores como pequeñas esferas, "aletas", o porosidad. Tercero,

para obtener la coloración deseada en la pieza el metal debe estar expuesto, libre de costras y grasa. La operación de "decapado" se efectúa también, después de que la pieza se ha soldado, pues esta se somete a la acción del calor del soplete y esto la oxida.

En la operación de limpieza también puede utilizarse un procedimiento abrasivo llamado "sand blast", que consiste básicamente en la proyección de partículas de algún abrasivo en polvo como el carburo de silicio ("carburundum") o la arena sílica, impulsados por un flujo de aire comprimido a alta presión, que erosiona la superficie de la pieza, removiendo los óxidos. Con este procedimiento se puede dar cierta textura a la superficie, utilizando diferente tamaño en las partículas de abrasivo.

Después de que la pieza ha sido bañada en ácido y enjuagada con abundante agua, se

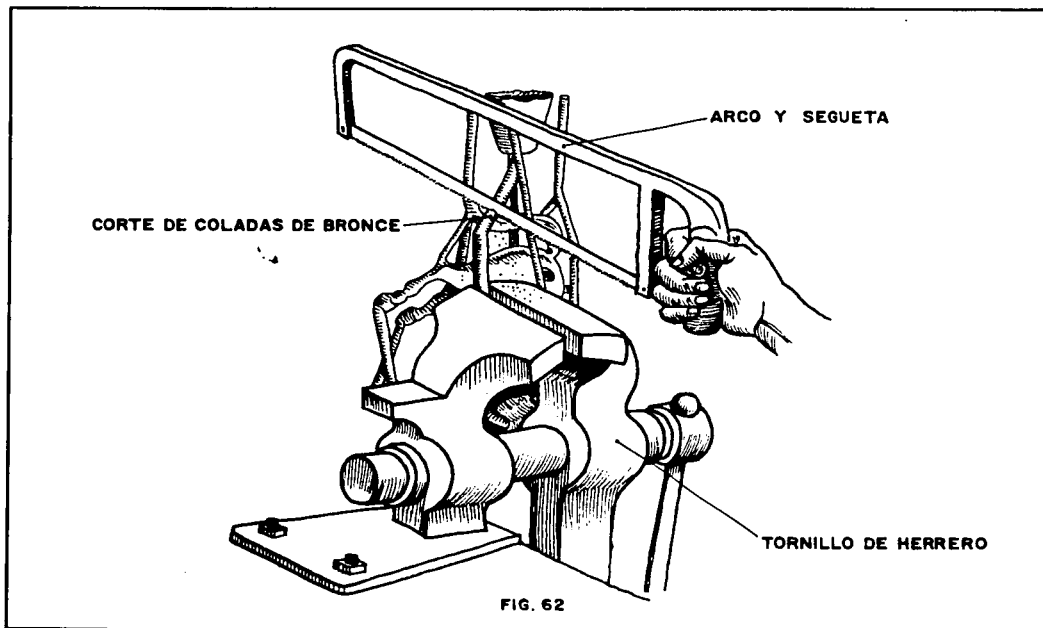
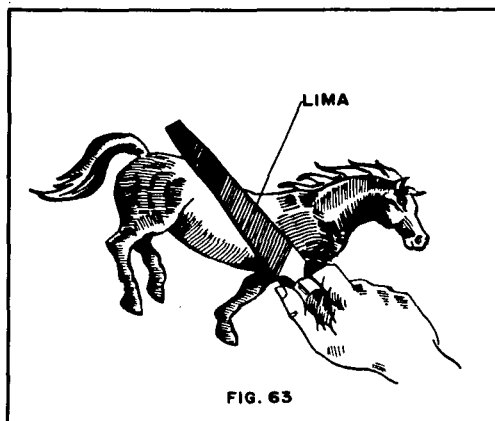
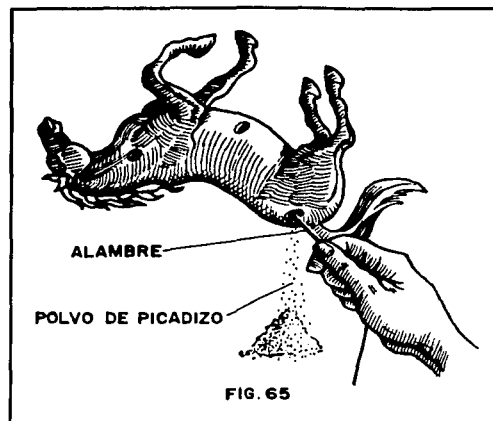


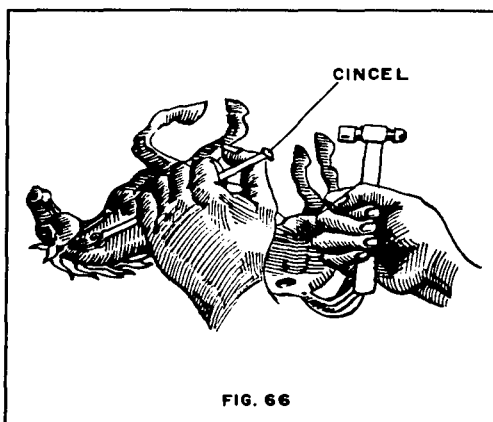
FIG. 62

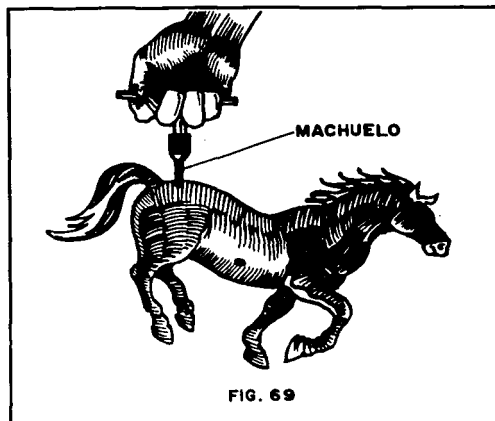


procede a tapar los orificios que se practicaron cuando la pieza fue de cera y sirvieron para que por ellos penetrara el material refractario y diera forma al "corazón" o "núcleo". La operación de tapar dichas perforaciones, se efectúa de dos maneras, ya sea que se ocluyan con soldadura, (eléctrica u óxi-acetileno) *fig. 68* o practicando una rosca en la perforación con un machuelo *fig. 69* y posteriormente tomar una de las "coladas" que se cortaron de la pieza y se le practica una rosca



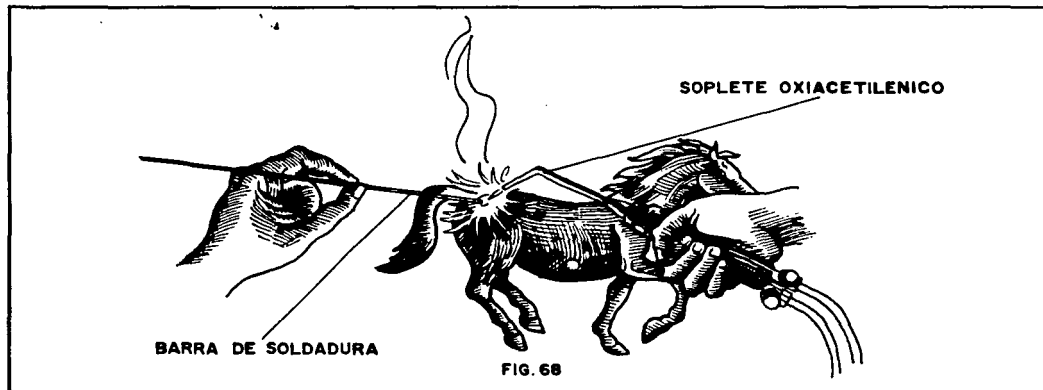
con un dado de la misma sección del machuelo, de esta manera, se introduce la "colada" roscada en el orificio también roscado y se atornilla, acto seguido, se corta con segueta y el sobrante de "colada" y se desbasta hasta que se disimule el tapón. Este método tiene la ventaja de que el color del metal del tapón es el mismo que el de la pieza. Es evidente, que este trabajo se efectuará en todos y cada uno de los orificios. Para tapar los pequeños orificios dejados por los soportes de alambre que





sostenfan el "corazón" o "núcleo", se pueden introducir pedazos de alambre de latón afilado y con un pequeño martillo se golpean suavemente para que el trozo de alambre se introduzca como si fuera una cuña, *fig. 70* de esta forma, el alambre se repuja dentro del orificio, tapándolo. Posteriormente se corta y se lima el excedente. Es de suponer que la pieza de bronce se debe fijar en una base, ya sea de madera, mármol, u otro material. En este caso, el fijado se hace

practicando unos orificios en los cascos que asientan en el piso y se roscan con un machuelo, *fig. 71* posteriormente, se ubican en la base los lugares donde asentarán las patas, se marcan y se procede a perforar la base para que por ahí penetren los tornillos que se atornillarán en las patas del caballo, de esta manera se fija la pieza, sin embargo el fijado se realiza después del patinado.



CAPITULO X PATINADO



Una vez realizado el trabajo de "desbarbado", limado, reconstrucción si es necesario, y "decapado", se procede a efectuar el tratamiento, para dar coloración al metal. El bronce es susceptible de colorearse en diferentes tonos, entre los más usuales están el verde, negro, café, rojo óxido y azul. A la operación de provocar el color a la pieza de bronce se le conoce como "patinado", aunque la verdadera "pátina" la da el tiempo, por la exposición al medio ambiente y es una particularidad exclusiva de los objetos de bronce y latón. Sin embargo, otros metales pueden adquirir diferentes colores de manera artificial, pero los bronce adquieren una condición especial debido a que los agentes atmosféricos le provocan reacciones químicas, produciendo diferentes compuestos derivados de su principal constituyente metálico: El cobre. El hierro por ejemplo, puede admitir sólo dos colores de manera natural, combinándose con el oxígeno del medio ambiente, el color óxido o el negro; ambos compuestos son en realidad, capas de sales metálicas producidas para proteger al metal del que proceden, del ataque ejercido por el oxígeno del aire. Por medios artificiales, se puede colorear en azul (pavonado), también por calentamiento se puede obtener en una superficie de hierro limpia, una gama de colores que van desde el marrón, pasando por el azul hasta el negro.

En cambio, las aleaciones de cobre adquieren diferentes colores de manera natural y artificial, los bronce antiguos son un ejemplo de esto, pues presentan una amplia escala tonal, debido a la exposición prolongada a los componentes químicos de los lugares donde han sido encontrados, esto es bajo el mar, bajo tierra, en lagunas de agua dulce, lecho de los ríos, etc. En estos bronce podemos ver coloraciones amarillas, rojo escarlata, moradas, anaranjadas, en fin de casi todas las longitudes de onda del espectro luminoso. Sin embargo, una pieza de bronce con una coloración amarillo medio no tiene el mismo impacto visual, que la misma pieza con una pátina

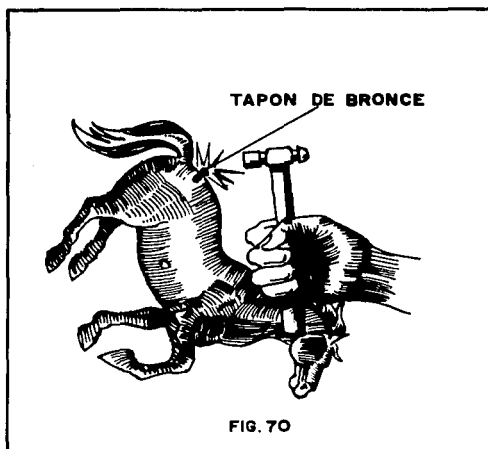


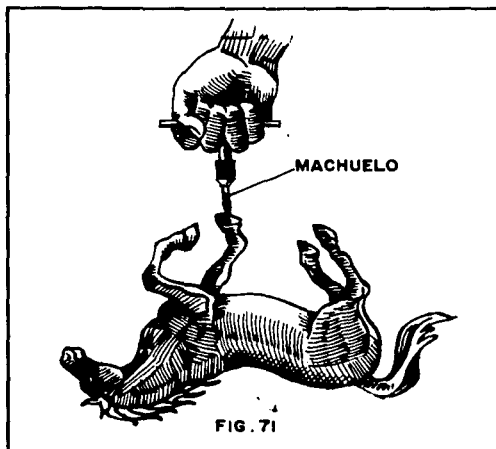
FIG. 70

color "verde viejo" o "verde pompeyano", en el segundo caso, el bronce adquiere una magnificación visual que cautiva, tal vez por esta razón estén más extendidos los colores tradicionales en las "pátinas" (verdes, cafés, azules, negras) por tal causa solo se describirán aquí los procedimientos mas usuales para obtener las películas de color más comunes sobre la superficie de la pieza de bronce. Por otro lado, es importante indicar que puede resultar desilusionante el manejo de fórmulas para obtener determinada coloración pues recuérdese que el bronce usado normalmente con fines artísticos, tiene su origen en desechos o chatarra, tal contingencia impide el control de la composición del bronce. Por ejemplo, la aleación de una pieza mecánica, un cojinete, debe reunir ciertas propiedades como: resistencia a la abrasión o al desgaste por fricción. Una "llave de globo" usada en plomería debe ser resistente a la corrosión por agentes químicos, un engrane debe ser resistente a la fricción pero también debe permitir su trabajo en el torno (maquinado). Para lograr las características necesarias en cada pieza mecánica, se adicionan otros metales a las aleaciones de cobre, como: níquel, plomo, fósforo, aluminio, arsénico, berilio, etc.



Esto hace imposible obtener un bronce igual a otro en cada fusión, que permita establecer un parámetro para controlar una coloración con una fórmula determinada. Por tanto es frecuente que no se logren los efectos esperados de una fórmula señalada para un color en particular.

Es importante recordar que el trabajo de "patinado" implica el manejo de reactivos químicos que pueden resultar peligrosos. La manipulación de sustancias químicas debe hacerse de manera cautelosa para evitar algún accidente, téngase presente por otro lado que, la mayoría de las sales de cobre son venenosas.



Para la obtención de coloraciones verdes, se procede de la siguiente manera: Se vierte un poco de ácido nítrico en un recipiente de plástico o vidrio y se agregan poco a poco pedazos pequeños de cobre, el ácido disuelve el cobre generando gran cantidad de calor, con desprendimiento de vapores rojos (peróxido de nitrógeno). Terminada la reacción, se obtiene un líquido azul espeso (nitrato cúprico y agua).

Este líquido se diluye con agua para ser usado, la pieza de bronce debe estar "decapada" y libre de grasa, de lo contrario, la pátina se adhiere

mal. Con un soplete de gas se calienta la pieza de bronce y se hacen continuas aplicaciones de la solución con una brocha. *fig. 72* El calentamiento se hace alternamente a la aplicación de la solución, de esta manera se produce la evaporación del agua y de inmediato se deposita la sal cúprica en la superficie de la pieza, apareciendo la característica coloración verde, parecida a la "malaquita". En tanto mas concentrada sea la solución de nitrato cúprico, más gruesa y más cubriente es la coloración, sin embargo también es menos adherente.

Este procedimiento ofrece varias alternativas, y a partir de él se pueden obtener diferentes coloraciones en el bronce y el latón.

Si el escultor lo desea, la pieza puede quedarse con la coloración verde del procedimiento anterior, sin embargo esta "pátina" es susceptible de ensuciarse y desprenderse en forma de polvo, por esta razón siempre es preferible incorporar a la superficie coloreada algún aceite secante como el de linaza, nueces, semillas de girasol, etc., con el propósito de que se produzca una película transparente que proteja la "pátina", pero sobre todo, y esto es lo más importante, que se efectúe una interacción entre la sal de cobre depositada en la superficie de la pieza y el aceite secante, por la formación química de un oleato de cobre, que tiene la particularidad de presentar una mejor solidez frente a los rayos ultravioleta, del medio ambiente así como una mejor adherencia a la superficie metálica.

Es oportuno indicar que al hacer las aplicaciones de aceite, la pátina se satura y cambiara, de un verde claro a un verde oscuro, antiguamente se frotaba cebo animal a la pieza después del patinado con objeto de lograr la formación del oleato de cobre, de esta forma no es necesaria la aplicación de barniz alguno.

Si se desea el tono verde claro, no se aplicara aceite secante, pero la pieza debe cubrirse con una delgada capa de barniz acrílico o laca automotiva aplicada por aspersión, con objeto de proteger el compuesto de la decoloración por la

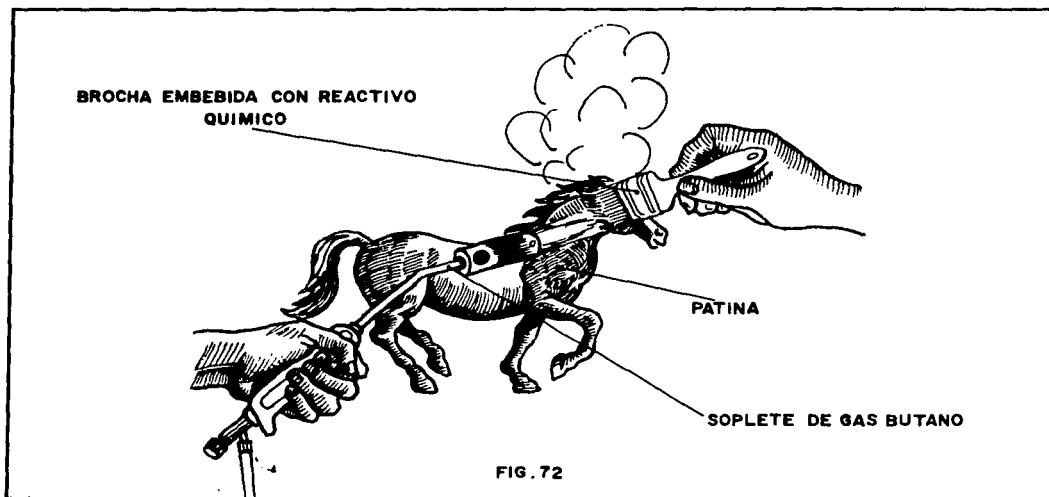


radiación ultravioleta, así como aislarla del ambiente, que pudiera modificar el compuesto.

Otra alternativa que ofrece este procedimiento del nitrato cúprico, consiste en sobre calentar la pieza ya patinada con objeto de calcinar el depósito para oscurecerlo, de esta manera la sal de cobre depositada en la superficie de la pieza pasa a formar otro compuesto por la acción del calentamiento, llamado óxido cúprico que es de color negro,⁵¹ de esta forma la pieza adquiere un hermoso color verde oscuro que puede

Partiendo de la coloración verde también se puede obtener una coloración parda, aplicando una solución de sulfato de fierro, esto se hace también con una brocha y el soplete de gas.⁵²

Para la obtención de coloraciones cafés o negras, la pieza de bronce se tratará después del baño de decapado con una solución de sulfuro de potasio, este tratamiento se realiza calentando la pieza con el soplete y aplicando la solución con una brocha, entre más diluida es la solución, el color es más claro (café), si la solución es más



llegar hasta el negro si se desea; posteriormente se hace una aplicación de aceite secante, cera de abeja fundida, o algún barniz.

Si se desea una coloración azul en la pieza, ésta se obtiene a partir del "patinado" verde y se procede de la siguiente manera: Después de hacer la aplicación de nitrato cúprico se deja enfriar la pieza coloreada en verde y una vez logrado esto se hará una segunda aplicación, ahora con hidróxido de amonio, de inmediato la coloración verde virará al azul por transformarse en hidróxido cúprico.

concentrada, se obtiene una coloración negra, en ambos casos, el compuesto químico formado es de sulfuro de cobre.

Existen una gran cantidad de sustancias que se forman en las aleaciones de cobre, que le dan coloración, igualmente existen muchas fórmulas para obtenerlas, sin embargo, aquí solo se han tratado las más usuales.

Referente a la aplicación de barnices o aceites secantes, existen opiniones encontradas, hay quien prefiere -por respeto al material-

51 OP.CIT. CURSO GENERAL DE QUIMICA... PAG. 359

52 IDEM PAG. 360



presentar sus trabajos con la "pátina" desnuda, esta es una apreciación válida si el productor plástico tiene conocimiento de que los compuestos de cobre sufren modificaciones por las condiciones ambientales, y si su intención es una propuesta donde su obra puede cambiar de carácter por presentar una coloración diferente a la que genéricamente se había concebido.

Por simple responsabilidad profesional se debe tener claro que la interacción del color con el volumen ofrece un vehículo de expresión que no debe escapar al control que el productor plástico ejerce al manifestar su intención creadora.

No obstante también es necesario deslindar por la misma responsabilidad profesional, ante la costumbre poco acertada de usar pintura a guisa de "pátina" (el uso de pinturas en otros materiales que dan corporeidad a la manifestación escultórica es un recurso totalmente válido), sin embargo, en la escultura en bronce, no tiene justificante, pues paradójicamente estas pinturas son aplicadas con la intención de imitar la "pátina". También es cierto que muchos compuestos derivados del cobre son utilizados como pigmentos en la elaboración de pinturas como el "azul de Bremen", cuyo nombre químico es hidróxido cúprico o el "verde de montaña": Carbonato básico de cobre y que, pueden depositarse por reacción química sobre la aleación que nos ocupa; por tanto, resultará absurdo aplicar una capa de pintura a la superficie de la pieza de bronce de "azul de Bremen" o "verde montaña" por la simple idea de que ambos pigmentos tienen un origen común, (compuestos de cobre).

Insistimos en que la coloración, cualquiera que sea, en la escultura en bronce de pequeñas dimensiones, debe ser producto de una reacción química, ya sea provocada por el productor plástico o por los agentes atmosféricos, y si la reacción química proporciona una coloración determinada, ésta debe aislarse de los agentes ambientales para evitar su ulterior transformación, si este es el deseo del artista o paralelamente dejar

expuesta la coloración a sabiendas de que ésta se modificará. Esta última determinación, se sustentará en el discurso que da razón de ser a la propuesta plástica de cada productor, pero jamás obedecerá al desconocimiento de las posibilidades que ofrece el material, por que esto no es perdonable en quien asiste a una universidad en busca de los conocimientos que le servirán como herramienta para expresar y proponer una nueva forma de ver y percibir la realidad con objeto de transformarla.

CONCLUSIONES

Vivimos un momento en que la acumulación de aportaciones tecnológicas es muy grande, lo que ha permitido a la humanidad disponer de muchos satisfactores, así como de una abundancia de productos que la tecnología ha hecho posibles y toda vez que la insuficiencia económica no nos permite poseerlos todos ellos, sabemos de su existencia y nos imaginamos la ventajas si fueran nuestros.

Sin embargo, existe aparejado al avance de la humanidad e inversamente proporcional, un deterioro de la capacidad creadora en el ser humano en general, pues hemos llegado al momento en el que si necesitáramos empanizar un filete de pescado, nos veríamos en la imposibilidad de hacerlo, se nos ha acabado el paquetito de pan molido que venden ex profeso y no lo han surtido en la tienda, difícilmente se nos ocurriría moler un mendrugo de pan duro y proveernos de tan preciado polvo en ese momento. Este es un ejemplo burdo y tosco pero real, es lo que acontece actualmente.

El efecto del proceso industrializador ha sido contundente, exterminando cualquier iniciativa artesanal por incosteable, y nos impide el uso de aquella vieja relación mano-cerebro que ha dado origen al hombre mismo y que le ha permitido ser lo que es. Paradójicamente el propio desarrollo nos impide presenciar el proceso de producción de cualquier producto y esto nos aleja de nuestra realidad, nos hace pensar que los objetos están ahí por algún designio mágico, ¡sólo aparecen!, desconocemos como se hacen, y no nos interesa saberlo, solo queremos disponer de ellos, consumirlos. Por eso despreciamos la manufactura, consideramos menos importante el trabajo manual nos parece primitivo, elemental, quizá por eso, despreciamos a las fuerzas productivas, por que hacen una sola cosa, mecánicamente, esto es: Trabajar. Esta postura nos acerca al fascismo, es mas importante la idea, la concepción, vieja herencia del renacimiento, pero olvidamos que la cúpula craneana puede albergar

la más grandiosa idea y que mientras esta no pueda escapar de ahí y materializarse en las manos, a través del trabajo, de la transformación, esta idea adquiere la categoría de utopía. La era de industrialización va despojando a la humanidad de aquella capacidad de disfrute ante la obra terminada, la satisfacción que producía al hombre el poder iniciar un trabajo y verlo terminar por él mismo, aquel ancestral goce que proporcionaba el observar y sentir cómo un pedazo de sílex, cedía ante los golpes perfectamente situados, certeros, que daban forma a una punta de flecha.

Paradójicamente hoy existen más herramientas, pero también menos manos que sepan usarlas. Por otro lado la especialización y la división del trabajo nos ha obligado a limitarnos a áreas muy específicas del amplio ámbito humano impidiéndonos establecer una correspondencia con otras entidades, y por ende una retroalimentación que nos permita un mejor conocimiento de nosotros mismos.

En este mundo de objetos prefabricados, de concreto premezclado, de alimentos precocidos, sopas instantáneas y de esperanzas cifradas en la industria maquiladora, los productores plásticos tenemos un pequeño rasgo que nos distingue de nuestros demás congéneres y no es curiosamente la condición de "artistas" sino la oportunidad de llevar a la práctica, por nosotros mismos, algún capricho albergado en nuestra cabeza. En las aulas aprendimos la argumentación y los conceptos teóricos para dar razón de ser a nuestro trabajo, en los talleres nos ejercitamos en el uso de materiales y herramientas, en teoría estamos capacitados para la producción, para dar corporeidad, materialidad, sustancia y aspecto tangible a ese fantasma, figura inmaterial, de consistencia vaporosa que se agita en nuestra alma y nos causa desasosiego y malestar, pues descansamos hasta que esa inquietud se materializa por la acción de nuestras manos.

Tenemos la oportunidad de ejercitar la ancestral relación mano-cerebro, de articular esa

dicotomía que ha distinguido a la humanidad, de fecundar un material inanimado, con un chispazo de actividad mental y laboriosa habilidad manual.

En síntesis, somos afortunados por poder participar en un proceso en el que intervenimos directamente, tomando determinaciones, resolviendo dificultades, decidiendo infinidad de veces. Presenciamos muy de cerca, cómo el material obedece a nuestros deseos, de principio a fin, lo sentimos, lo palpamos, lo conocemos, llega a formar parte de nosotros convirtiéndose en una extensión de nuestra propia sustancia.

Sin embargo, la industrialización, como decíamos antes, ha diluido esa potencialidad creativa y lo ha hecho con la complicidad nuestra, pues hemos permitido la invasión de nuestro terreno, (no me refiero al uso de herramientas y materiales), sino al modo de ver, a la manera de interpretar la realidad, de concebir el entorno.

Es frecuente hoy presenciar propuestas donde la mano del productor tiene escasa o nula participación, pues se llega a casos extremos en los que el objeto estético es realizado por manos ajenas al supuesto creador.

Tal es el terreno que hemos cedido, con mentalidad de diminutos capitalistas, buscamos habilidosas manos que lleven a la práctica "nuestra idea", con el pretexto de que no podemos perder tiempo en su ejecución, queremos que otro haga lo que nosotros desconocemos.

Resulta ingenuidad extrema, el que se pueda obtener alguna satisfacción por algo que no ha sido marcado por nuestra manos y sin embargo este modo de ver se ha hecho consuetudinario.

Es posible que el reivindicar hoy, la facultad del ser humano como transformador, sea un acto anacrónico, pero de no hacerlo, estamos condenados a aceptar el ser arrastrados por esa corriente enajenante, donde el conocimiento integral no es necesario, limitándonos a hacer una sola cosa, donde el espacio para movernos es pequeño, pues nos ata un conocimiento corto, donde no es necesario conocer la perspectiva, ni saber de que son los materiales que usamos.

Es necesario hacer conciencia, de que en tanto permitamos que el conocimiento sea constreñido a áreas muy específicas, que mientras no bebamos de otras fuentes de conocimiento, y olvidemos la responsabilidad que tenemos como profesionales, perdemos libertad pues nuestro trabajo se fragmenta y puede ser ejecutado por otras manos, lo que nos conduce a ser menos necesarios, mas sustituibles más inútiles, pues se habrá perdido definitivamente la condición de homo-faber.

BIBLIOGRAFIA

- ALSINA, B.J. LA FUNDICION A LA CERA PERDIDA
ED. ALSINA. BARCELONA, 1992
- APARICIO, F. TECNOLOGIA DE METAL
ED. PARANINFO S.A. MADRID, 1980
- CROSETTI, G. CURSO DE TECNOLOGIA MECANICA
ED. HOBBY. BUENOS AIRES, 1960
- DE GAMO, E.P. MATERIALES Y PROCESOS DE
FABRICACION
ED. REVERTE S.A. ESPAÑA, 1980
- DE GRIMBERG, D.M.K. LOS SEÑORES DEL METAL
ED. DANGEA MEXICO, 1990
- DE GRIMBERG, D.M.K. ESTUDIO DE CUATRO CASCABELES DE
FALSO ALAMBRE PROVENIENTES DE LAS EXCAVACIONES
DEL TREN SUBTERRANEO DE LA CIUDAD DE MEXICO
ED. SOBRETIRO DE ANTROPOLOGIA Y TECNICA N° 2 U.A.M.
MEXICO, 1987
- DE GRIMBERG, D.M.K. EL NACIMIENTO DE LA METALURGIA
ED. CIENCIA -34 67-75 MEXICO, 1983 U.A.M.
- DELANETE-DUBOIS MECANICA TEORICA Y APLICADA
ED. TEA S.A. MADRID, 1966
- DIONISIO, M. INTRODUCCION A LA PINTURA
ED. ALIANZA EDITORIAL S.A. MADRID, 1972
- DOERNER, M. LOS MATERIALES DE PINTURA
ED. REVERTE. BACELONA, 1980
- DUPONCHELLE MANUAL DEL FUNDIDOR DE METALES
ED. GUSTAVO GILLI S.A. BARCELONA, 1960
- FERNANDEZ-LADREDA QUIMICA APLICADA
ED. AGUILAR S.A. MADRID, 1951
- FERSMAN, A.E. GEOQUIMICA RECREATIVA
ED. MIR. MOSCU, 1966
- GAYA, J.A. ESCULTURA IBERICA
ED. AGUILAR. ESPAÑA, 1964
- GONZALEZ, J.M. HISTORIA DE LA ESCULTURA
ED. GREDO S. MADRID, 1964
- GRIMBERG, C. EL ALBA DE LA CIVILIZACION
ED. DAIMON. MEXICO, 1983

- HAUSER, A. HISTORIA SOCIAL DE LA LITERATURA Y EL ARTE VOL. 1, ED. LABOR. BARCELONA, 1983
- HIGGINS, R.A. INGENIERIA METALURGICA TOMO I Y II, ED. COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL MEXICO, 1963
- HORCASITAS, M. L. LA ARTESANIA CON RAICES PREHISPANICAS DE SANTA CLARA DEL COBRE ED. SEP SETENTAS. MEXICO, 1973
- HOWARD, F.T. FUNDICION PARA INGENIEROS ED. COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL. MEXICO, 1961
- JANAPETOV, M. SOLDADURA Y CORTE DE METALES ED. MIR. MOSCU, 1977
- JOHN, V.B. CONOCIMIENTO DE MATERIALES EN INGENIERIA ED. GUSTAVO GILLI. BARCELONA, 1976
- JOHNSON, C.G. METALURGIA ED. REVERTE S.A. MEXICO, 1961
- KEYSER, C.A. CIENCIA DE MATERIALES PARA INGENIERIA ED. LIMUSA. MEXICO, 1979
- KNAUTH, P. EL DESCUBRIMIENTO DE LOS METALES ED. TIME LIFE INTERNATIONAL. UNITED STATES, 1976
- KNOP, N. LA FUNDICION EN BRONCE A TIERRA Y A CERA PERDIDA, TECNICA DE LA ESCULTURA. ED. CENTRO EDITOR DE AMERICA LATINA S.A. ARGENTINA, 1976
- KREKELER, K.A. MICROFUSION (FUNDICION CON MODELO PERDIDO) ED. GUSTAVO GILLI S.A. BARCELONA, 1971
- LE BRETON, H. DEFECTOS DE LAS PIEZAS DE FUNDICION TOMO I, ED. URMO. BILBAO, 1954
- MALISHEV, A. TECNOLOGIA DE LOS METALES ED. MIR. MOSCU, 1970
- MAYER, R. MATERIALES Y TECNICAS DEL ARTE ED. BLUME. MADRID, 1985
- MIDLEY, B. GUIA COMPLETA DE ESCULTURA, MODELADO Y CERAMICA ED. BLUME. MADRID, 1982
- MILLS, J. THE ENCYCLOPEDIA OF SCULPTURE TECHNIQUES ED. WATSON GUPTILL. NEW YORK, 1989
- MONTAÑES, E.S. ORFEBRERIA PRECOLOMBINA Y COLONIAL ED. BIBLIOTECA IBEROAMERICANA. MEXICO, 1990

MORGAN	MANUAL DE LA FUNDICIONA CRISOL , PUBLICACION DE MORGANITE DEL CARIBE S.A. DE C.V. MEXICO, 1980
MONTEFORTE, T. M.	LAS PIEDRAS VIVAS, ESCULTURA Y SOCIEDAD EN MEXICO ED. UNAM MEXICO, 1979
MORRAL, F.B.	METALURGIA GENERAL TOMO I ED. REVERTE S.A. ESPAÑA, 1982
MOORE, H.D.	MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACION ED. LIMUSA. MEXICO, 1986
NAVARRO, V.	TECNICA DE LA ESCULTURA SUCESOR DE E. MESSEGUER, EDITOR. BARCELONA, 1976
PARRILLA, F.C.	RESINAL POLIESTER PLASTICOS REFORRADOS 5a EDICION MEXICO, 1976
PERICOT, L.	LA HUMANIDAD PREHISTORICA ED. SALVAT S.A. ESPAÑA, 1982
PINNA, G.	ENCICLOPEDIA ILUSTRADA DE LOS FOSILES ED. PIRAMIDE S.A. MADRID, 1990
POSTIGO, L.	QUIMICA GENERAL APLICADA ED. SOPENA S.A. MEXICO, 1968
PUIG, I.	CURSO GENERAL DE QUIMICA ED. MARIN S.A. MEXICO, 1968
READ, H.	IMAGEN E IDEA ED. FONDO DE CULTURA ECONOMICA MEXICO, 1985
RIVET, P.	LOS ORIGENES DEL HOMBRE AMERICANO ED. FONDO DE CULTURA ECONOMICA. MEXICO, 1960