

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROCESO DE ANILLOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE  
FUNDICIÓN A LA CERA PERDIDA

TESIS  
PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

HUGO LEONEL HERRERA OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 1,999



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

PROCESO DE ANILLOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE  
FUNDICIÓN A LA CERA PERDIDA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial con fecha 16 de abril de 1,999.

---

HUGO LEONEL HERRERA OROZCO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing.	Herbert René Miranda Barrios
VOCAL 1o.	Ing.	José Francisco Gómez Rivera
VOCAL 2o.	Ing.	Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL 3o.	Ing.	Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL 4o.	Br.	Oscar Stuardo Chinchilla Guzmán
VOCAL 5o.	Br.	Mauricio Alberto Grajeda Mariscal
SECRETARIO	Inga.	Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing.	Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing.	José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADOR	Ing.	Aldo Estuardo García Morales
EXAMINADOR	Ing.	Fernando José Álvarez Paz
SECRETARIO	Ing.	Francisco Javier González López

Guatemala, 06 de agosto de 1,999

Ingeniero  
Francisco Gómez Rivera  
Director de la Escuela de  
Ingeniería Mecánica Industrial  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Cumpliendo con lo resuelto por la Dirección de Escuela, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de tesis titulado **PROCESO DE ANILLOS MEDIANTE LA TECNICA DE FUNDICION A LA CERA PERDIDA**, desarrollado por el estudiante universitario Hugo Leonel Herrera Orozco.

El trabajo presentado por el estudiante Herrera Orozco, ha sido desarrollado cumpliendo con los requisitos reglamentarios, consultando bibliografía adecuada y siguiendo las recomendaciones de la asesoría, en tal virtud me permito recomendar su aprobación.

Atentamente.

  
Ing. Javier Vasquez O.  
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Como Catedrático Revisor de esta Tesis de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor de Tesis al trabajo de tesis titulado **PROCESO DE ANILLOS MEDIANTE LA TECNICA DE FUNDICION A LA CERA PERDIDA**, presentado por el estudiante universitario **Hugo Leonel Herrera Orozco**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Director de la Escuela de  
Ingeniería Mecánica



Guatemala, septiembre de 1999.

emds

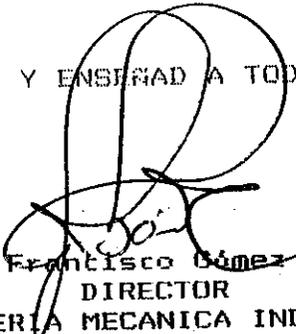
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Revisor de Tesis y del Licenciado en Letras, al trabajo de tesis titulado **PROCESO DE ANILLOS MEDIANTE LA TECNICA DE FUNDICION A LA CERA PERDIDA**, presentado por el estudiante universitario **Hugo Leonel Herrera Orozco**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Francisco Gómez Rivera  
DIRECTOR  
INGENIERIA MECANICA INDUSTRIAL



Guatemala, octubre de 1999.

emds



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de tesis titulado **PROCESO DE ANILLOS MEDIANTE LA TECNICA DE FUNDICION A LA CERA PERDIDA**, presentado por el estudiante universitario **Hugo Leonel Herrera Drozco**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE

  
Ing. Francisco Gómez Rivera  
DECANO EN FUNCIONES



Guatemala, octubre de 1999

emds

## ACTO QUE DEDICO

A DIOS	SUPREMO CREADOR
A MIS PADRES	SILVINO HERRERA PASCUAL CELESTE OROZCO LIPPMANN
A MI ESPOSA	PATRICIA PÉREZ PINZÓN
A MI	FUTURO(A) HIJO(A)
A MI TÍA	VIOLETA OROZCO LIPPMANN
A MIS HERMANOS	WALTER HERRERA OROZCO HELMONTH HERRERA OROZCO MILTON HERRERA OROZCO RONAL HERRERA OROZCO
A MI CUÑADA	GILDAMARÍA PINEDA GARCÍA
A LA FAMILIA	PÉREZ PINZÓN
A MIS	DEMÁS FAMILIARES
A MIS	AMIGOS

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
GLOSARIO	V
INTRODUCCIÓN	X
OBJETIVOS	XII
1. FUNDICIÓN. MARCO HISTÓRICO	1
1.1 Historia de la fundición	1
1.2 Ventajas, limitaciones y controles	5
1.2.1 Ventajas	5
1.2.2 Limitaciones	6
1.2.3 Controles	7
1.3 Sistema operativo	7
2. PREPARACIÓN DEL MOLDE DE CAUCHO	11
2.1 Modelo para preparar el molde de caucho	12
2.1.1 Espesor, contracción	13
2.1.2 Acabado del modelo	14
2.2 Fabricación del molde	14
2.2.1 Corte de material	15
2.2.2 Elección del marco según las dimensiones del modelo	16

2.2.3	Bebedero	17
2.3	Vulcanizado	20
2.3.1	Tiempo y temperatura de vulcanizado	23
2.3.2	Corte del molde	24
2.3.3	Extracción del modelo	26
2.3.4	Corte bisagra	29
3.	INYECTADO DE LA CERA	30
3.1	Preparación del molde	32
3.2	Cera para inyectar	34
3.2.1	Presión y temperatura de la cera	35
3.3	Extracción del patrón de cera	36
3.3.1	Técnica para dar forma a la cera	38
3.4	Montaje de las ceras	40
3.4.1	Montaje en árbol	41
3.5	Herramienta eléctrica para soldar la cera	44
4.	LOS CILINDROS	47
4.1	Material de revestimiento	49
4.2	Relación agua : polvo de revestimiento	52
4.2.1	Cálculo del agua y del revestimiento necesarios para llenar un cilindro de capacidad desconocida	55
4.3	Preparación de la mezcla de revestimiento	56

4.3.1	Operación y tiempo de mezclado	57
4.4	Quemado	59
4.4.1	Hornos para quemado	62
4.5	Ciclos de quemado	64
5.	FUNDICIÓN	70
5.1	Crisoles	72
5.2	Temperaturas de fusión del oro	76
5.3	Fundición directa y en horno	77
5.3.1	Fundición directa	78
5.3.2	Fundición en horno	80
5.4	Enfriado del cilindro y eliminación del revestimiento	81
	CONCLUSIONES	85
	RECOMENDACIONES	87
	BIBLIOGRAFÍA	88

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

No.	FIGURAS Título	Página
1	Flujo de proceso	9
2	Marco sencillo, en una sola pieza	16
3	Relación entre las dimensiones modelo : marco	17
4	Preparación de un bebedero	18
5	Vulcanizadora	21
6	Corte del molde de caucho	25
7	Molde cortado	26
8	Cortes de liberación	28
9	Corte bisagra	29
10	Inyectora de cera	31
11	Montaje en árbol	42
12	Diámetro del bebedero central	43
13	Distancia entre patrones	44
14	Micromatic eléctrico	46
15	Cilindros	47
16	Colocación del cilindro en la base	47
17	Colocación de los cilindros en el horno	61
18	Horno eléctrico	64
19	Posición de la marca del cilindro	72
20	Crisoles de diferentes formas y materiales	73

## GLOSARIO

- Adherir** Pegar, unir una cosa a otra.
- Amianto** Mineral de fibras blancas que resiste la acción del fuego.
- Atmósfera** Medio en el que se vive y que ejerce cierta influencia.
- Bebedero** Recipiente para dar de beber, en otras palabras, es por donde corre el metal fundido, para formar la pieza en el molde.
- Bisturí** Instrumento cortante usado en cirugía.
- Calcinar** Acción y efecto de quemar.
- Colada** Acción de vertir metal fundido del crisol al bebedero del cilindro.
- Decantar** Cambiar un líquido de recipiente, para que caiga sin que salga el poso.

<b>Dilatar</b>	Aumentar el volumen de un cuerpo mediante la elevación de su temperatura.
<b>Embotable</b>	Volver menos cortante o menos aguda la hoja de una herramienta.
<b>Empotramiento</b>	Fijación de una cosa en un muro o en el suelo.
<b>Engaste</b>	Embutir una cosa en otra; engastar un rubí en oro.
<b>Ensachar</b>	Poner más ancho; ensanchar un tubo.
<b>Espesor</b>	Grueso.
<b>Espolvorear</b>	Echar polvo a algo.
<b>Estampado</b>	Operación para grabado impreso de metales.
<b>Flexionar</b>	Acción y efecto de doblar.
<b>Fornituras</b>	Monturas de anillos.
<b>Fraguado</b>	Acción y efecto de endurecerse.

<b>Fusión</b>	Paso de un cuerpo sólido al estado líquido, por medio del calor.
<b>Inclusión</b>	Acción de poner una cosa dentro de otra.
<b>Manivela</b>	Palanca acodada que sirve para imprimir un movimiento de rotación continua al árbol giratorio al que halla fijado.
<b>Mufla</b>	Horno donde se someten los cuerpos a la acción del calor sin que los toque la llama.
<b>Oclusiones</b>	Picaduras en las piezas.
<b>Oquedades</b>	Huecos. Vacíos que tienen una cavidad interior.
<b>Pirómetro</b>	Instrumento de medición de temperatura.
<b>Poros</b>	Espacios huecos en las moléculas de los cuerpos.
<b>Probeta</b>	Tubo de cristal cerrado por un extremo y destinado a contener líquidos, para análisis

o medición.

**Pulcramente** Aseado, limpio.

**Quilate** Cantidad de oro fino contenida en una aleación de este material. Se le asigna al oro puro 24 quilates.

**Rebaba** Resalto formado de materia sobrante en los bordes de algo.

**Refractario** Aplicable al cuerpo que resiste la acción de agentes químicos o físicos y, especialmente, altas temperaturas sin descomponerse.

**Reostato** Resistencia variable que permite hacer variar la intensidad de una corriente en un circuito eléctrico.

**Resquebrajarse** Hendidura superficial de algunos cuerpos.

**Solidificar** Hacer pasar al estado sólido.

**Sulfuros** Combinación del azufre con un cuerpo.

**Térmico**

Relativo al calor y a la temperatura.

**Viscoso**

Pegajoso; propiedad que tiene un cuerpo de resistir a un movimiento uniforme de su masa.

## INTRODUCCIÓN

Con el tiempo, el proceso de fundición ha mejorado hasta alcanzar una técnica que permite la reproducción de objetos, previamente creados en un material que más tarde pudiera ser eliminado como la cera, utilizando un molde de caucho, siendo ésta la técnica de fundición a la cera perdida.

El concepto básico es duplicar un modelo matriz mediante la utilización de compuestos que pueden moldearse gracias al calor, en este caso el caucho y la cera. Ambos materiales, cuando se calientan pueden asumir cualquier forma y al enfriarse, solidifican reteniendo la forma adoptada previamente.

Este método resulta idóneo para obtener series de reproducciones exactas de un determinado modelo de anillo, reduciendo los costos de producción.

Son varios los procesos de fundición que actualmente siguen utilizando los joyeros y podría decirse que algunos siguen aplicándose de forma empírica, otros se han inclinado por la utilización de técnicas, empleando materiales

especialmente preparados para satisfacer la demanda de precisión en la reproducción de modelos de anillos.

Entre estos últimos, destaca la fundición a la cera perdida que hasta su aplicación en la tecnología dental en 1907, podría decirse que no se había vuelto a utilizar. A pesar del éxito obtenido por los dentistas tuvo que transcurrir mucho tiempo antes de que los talleres de joyería lo descubrieran.

## OBJETIVOS

### General

Desarrollar el proceso de anillos mediante una técnica por la cual se pueden obtener series de reproducciones exactas, de un determinado modelo de anillo, reduciendo así los costos de producción.

### Específicos

1. Conocer el avance que la microfusión a la cera perdida ha tenido en los últimos años.
2. Definir y describir las operaciones necesarias para fabricar un anillo de joyería fina.
3. Definir el montaje de las ceras y su preparación para la fundición.
4. Dar a conocer el proceso de elaboración del molde de caucho.
5. Conocer los diferentes tipos de fundición del metal.

# 1. FUNDICIÓN. MARCO HISTÓRICO

## 1.1 Historia de la fundición

La fundición es conocida desde tiempos muy remotos. En la antigüedad, el hombre descubrió que si calentaba el cobre hasta alcanzar el estado líquido, lo decantaba en un molde y lo dejaba enfriar, podía obtener una gran variedad de formas. Los primeros moldes que se utilizaron eran de tipo abierto, de una sola pieza. Posteriormente se fueron perfeccionando, hasta llegar a los de tipo cerrado, de dos piezas.

El concepto "cera perdida" debe su origen a que este proceso se realiza con la ayuda de un modelo de cera, que se recubre con un material refractario con el que se forma el molde y que más tarde, se quema para eliminar la cera que "se pierde".

Aunque existe una cierta diversidad de opiniones, la mayoría de autores se inclinan a creer que este tipo de fundición comenzó a utilizarse a finales del cuarto milenio antes de Cristo, al mismo tiempo que la metalurgia y la extracción de metales de los minerales. Unos mil años más tarde, en el tercer milenio antes de Cristo, se inició la

metalurgia del oro, la plata y las aleaciones de bronce. Las posibilidades aumentan considerablemente cuando se descubre que ciertos minerales que contienen metales pueden fundirse y que los metales obtenidos, pueden purificarse y volverse a fundir.

Egipto nos proporciona uno de los primeros trabajos de este tipo que se conocen. Se remonta a la época de Ramsés, unos 1400 años antes de Cristo. Según se ha podido comprobar, también los antiguos griegos y chinos empezaron a utilizar esta técnica hace más de 2000 años.

Existen innumerables testimonios que confirman la antigüedad de la fundición a la cera perdida. En el libro de Isaiah, del año 712 antes de Cristo, se cita a un ternero de oro, realizado por Aarón, hecho de metal fundido y decorado con una herramienta de grabar. La fundición a la cera perdida ofrece dos posibilidades:

- La fundición del objeto en una sola pieza.
- La fundición del objeto en varias partes que posteriormente se ensamblan.

Esta segunda posibilidad es conocida como "fundición por

partes". En los libros se citan moldes de piezas y de fundición por partes producidos en el año 328 antes de Cristo.

La técnica de fundición a la cera perdida se consagró, alcanzando la perfección, en los trabajos de Benvenuto Cellini, el orífice y escultor florentino que produjo preciosos trabajos de joyería en el siglo XVI. Después de Cellini las técnicas de fundición a la cera perdida casi desaparecieron, excepto para algunos joyeros, muy pocos, entre los que se encuentra Karl Fabergé que creó preciosas y complejas piezas de joyería, a principios del siglo XX.

Para hacerse una idea sobre los resultados obtenidos en este campo debe destacarse el hecho de que el procedimiento, con muy pocas variaciones, partiendo de la pura artesanía, se convirtió en uno de los métodos más importantes entre todos los utilizados en la fabricación de prótesis dentales. A pesar del éxito obtenido por los dentistas, tuvo que transcurrir un cuarto de siglo, hasta 1930, antes de que los talleres de joyería descubrieran que podían utilizarlo.

El factor que hizo posible la adaptación del proceso a la joyería moderna fue la circunstancia de que, utilizando

moldes de caucho, podían obtenerse rápidamente duplicados de las piezas en cera.

En otras palabras, los joyeros añadieron una etapa al proceso utilizado por los dentistas, el molde de goma, lo que les permitió producir, de forma rápida y muy precisa, modelos de cera que posteriormente servirían para obtener piezas de oro, plata, platino o paladio, partiendo de un único modelo original.

En 1950, un nuevo grupo de artesanos comenzó a interesarse por el procedimiento. Esta técnica, actualmente muy perfeccionada, se está utilizando para reproducir prácticamente cualquier pieza de joyería que quiera fabricarse en serie. Debido a su rápida y fácil aplicación, resulta indispensable si se quiere competir en precio y permite la obtención de volúmenes y formas imposibles de conseguir a mano. Es el medio perfecto para reproducir piezas de joyería, partiendo de un modelo original único, exactamente tal como el artista lo creó.

Hoy en día, hay tres grupos principales que utilizan la técnica de fundición a la cera perdida:

- Los artesanos que trabajan directamente la cera, para obtener piezas únicas;
- los fabricantes que utilizan moldes de caucho para reproducir muchas piezas iguales, y finalmente,
- los estudiantes de escuelas y centros de artesanías que emplean esta técnica con fines creativos y educativos.

## 1.2 Ventajas, limitaciones y controles

### 1.2.1 Ventajas

El procedimiento resulta especialmente apropiado para la fabricación de anillos, engastes, cajas de reloj de fantasía, fornituras y para todas aquellas piezas cuyo proceso de fabricación exige costos elevados, como pueden ser las operaciones de estampado o cuando se requiera mucha mano de obra.

Aunque para algunas operaciones específicas se emplea mano de obra semicalificada, para los procesos más importantes, tales como la elaboración de moldes de caucho y la propia colada, se requiere mano de obra especializada.

Puede utilizarse cualquier aleación de plata, oro de

color, oro blanco, platino, etc. de las que habitualmente se emplean para la fabricación de piezas de joyería.

Las piezas obtenidas por este procedimiento son más densas, presentan una estructura de grano más compacto y son menos porosas que las resultantes de cualquier fundición.

### 1.2.2 Limitaciones

Es sabido que las piezas de fundición no pueden proporcionar una superficie tan lisa y uniforme como la que se obtiene con material laminado. Incluso la superficie de una pieza pulcramente abrillantada puede presentar en su interior cuantiosos poros, oquedades y oclusiones.

La principal limitación de la fundición centrífuga con revestimiento la determina el tamaño máximo de la pieza a fundir, en relación con las dimensiones del cilindro. Sin embargo, esto puede superarse planeando modelos en varias partes que, posteriormente, pueden unirse por medio de soldaduras, o cualquier otro medio, para obtener conjuntos con mayores dimensiones.

### 1.2.3 Controles

Todos los modelos deben examinarse cuidadosamente para determinar si resultan apropiados para la fundición.

También es necesario llevar a cabo un severo control en todas las fases de trabajo. Las imperfecciones en las copias de cera, grietas en los moldes, inclusiones en el metal fundido y similares, se harán visibles en el producto final, por lo que deben eliminarse cuanto antes.

### 1.3 Sistema operativo

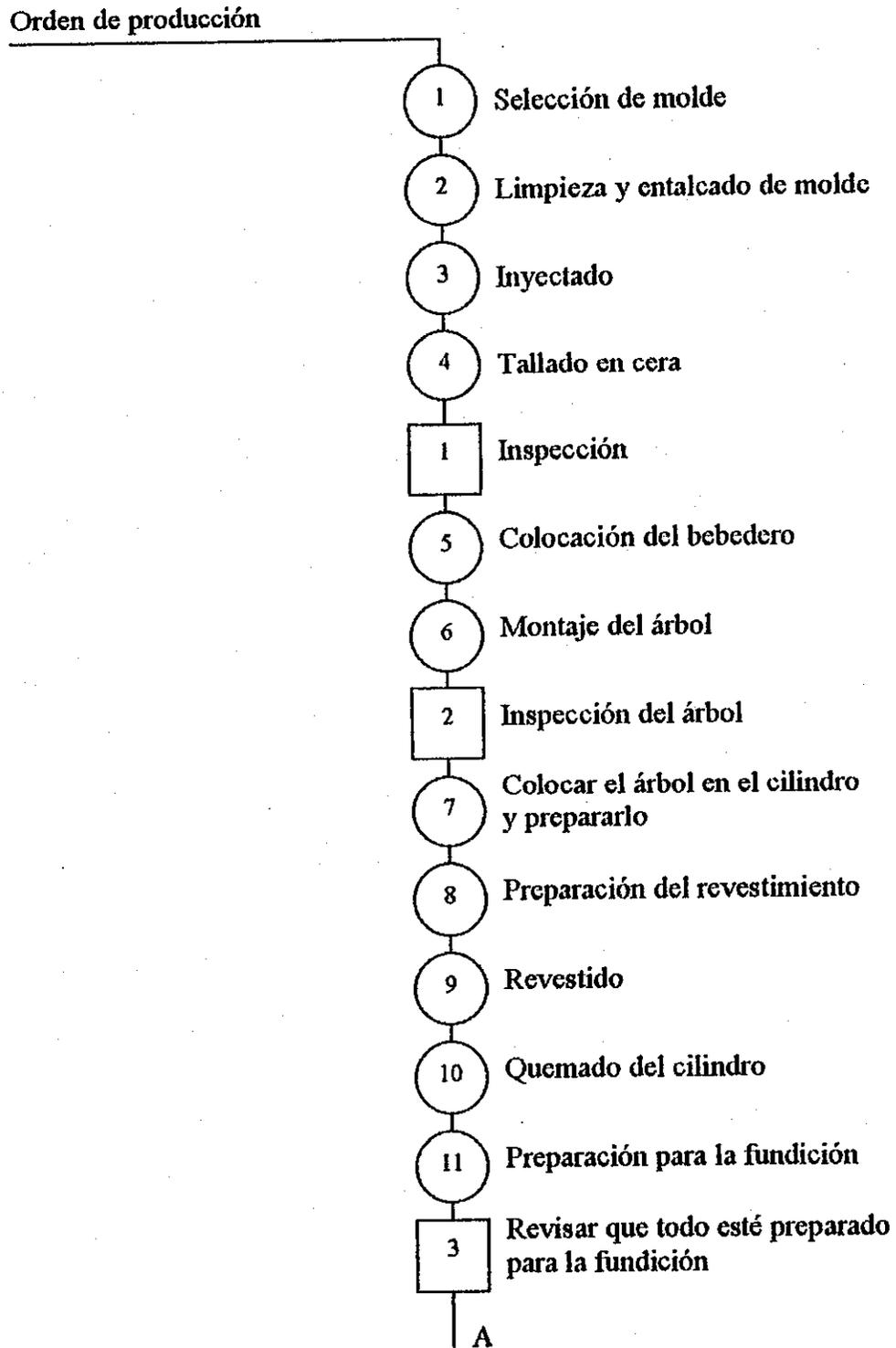
A continuación se describen sus actividades:

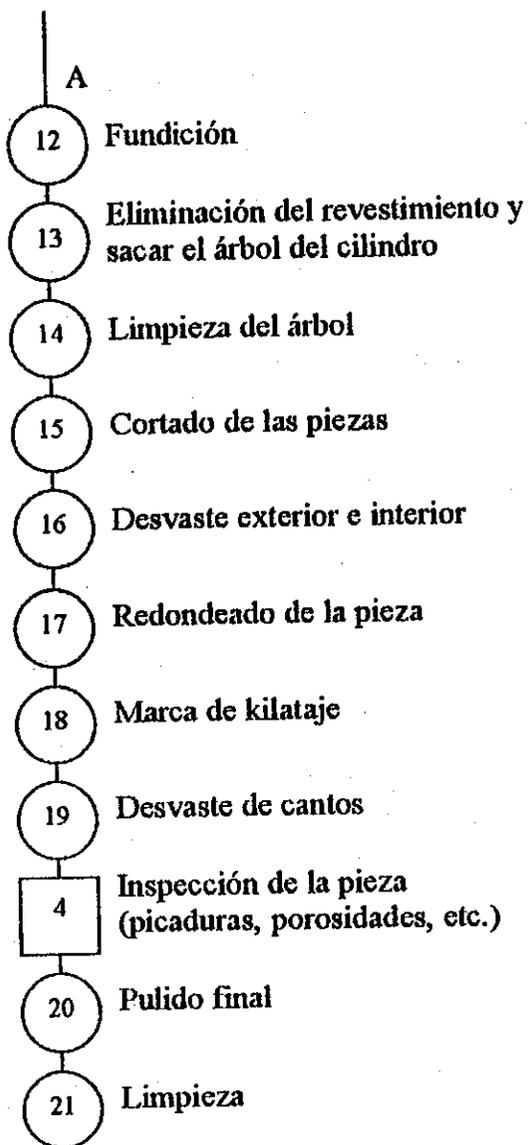
- Cada reproducción procede de un molde copia del original.
- El modelista prepara un modelo de cera, que se coloca en el interior de un recipiente metálico.
- Se vierte yeso sobre el modelo hasta cubrirlo totalmente.
- Cuando el yeso ha fraguado, se introduce el recipiente en un horno especial hasta que la totalidad de la cera fluye a través de unos canales previamente dispuestos.

- La cera, al abandonar el molde, deja una cavidad que corresponde exactamente a la forma del modelo original.
- Se inyecta el metal fundido en la cavidad, ya sea por medio de la fuerza centrífuga, el vacío, a presión, etc.
- Cuando el metal inyectado ha solidificado, se enfría el molde, se elimina el yeso y se extrae la pieza fundida.
- A continuación, se repasa, se lima y se pule hasta lograr un acabado lo más perfecto posible.
- Utilizando este modelo metálico, se prepara un molde de caucho.
- Después de cortar el molde de caucho, se separa el modelo metálico y se inyecta cera fundida, para obtener tantas copias como se quiera.
- Se forma el árbol y se sigue como se ha indicado para el modelo original de cera. Revestido, fraguado, quemado, inyectado, enfriado, separación de la fundición del yeso, corte de bebederos, repaso y acabado.

A continuación, se presenta la figura que muestra el flujo de proceso.

Fig. 1 Flujo de proceso





## 2. PREPARACIÓN DEL MOLDE DE CAUCHO

El caucho es un material ideal para reproducir gran cantidad de piezas, partiendo de un modelo original único. El caucho virgen se suministra en rollos, láminas y tiras, de superficie lisa, de unos 3 mm. de espesor o más, en trozos de 73 mm. de ancho por unos 45 cm. de largo. Si se compra en cantidad, puede obtenerse en piezas de unos 3.2 mm. de espesor por cualquier ancho y longitud deseados.

Se suministra en una gran variedad de calidades. "Castaldo # 2" y "Neo Brown" son los nombres de las marcas de caucho muy populares, utilizadas para fabricar moldes para piezas de joyería. El caucho *Neo Brown* es un poco más rígido que el *Castaldo # 2*.

El caucho grande se utiliza para moldes gruesos y el más duro para moldes delgados.

Las láminas de caucho presentan una de sus caras cubierta con una protección de paño, o de plástico adherente, para mantener la superficie totalmente limpia, libre de polvo, de grasa y de partículas extrañas.

## 2.1 Modelo para preparar el molde de caucho

El modelo que se utiliza para preparar un molde de caucho puede ser de latón, cobre, plata, oro, platino o de cualquier otro material que resista, por lo menos, temperaturas de 220°C. Habitualmente, suele emplearse latón o plata.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que al calentar el caucho para su vulcanización, se libera azufre.

Por este motivo, las aleaciones de cobre, las de plata y las de oro de 333 milésimas (10 kilates), o menos, resultan poco apropiadas para la fabricación de los modelos, porque son atacadas por los sulfuros. En cambio las aleaciones de oro de 585 milésimas (14 kilates) o más, resultan muy apropiadas aunque, en este caso, el inconveniente reside en el elevado precio de la aleación de oro.

Un procedimiento que proporciona muy buenos resultados consiste en fabricar el modelo en plata o latón y después de pulirlo lo más perfectamente posible, darle un baño de níquel brillante (de 5 a 10 minutos de inmersión). Con esto se evita que las aleaciones baratas sean atacadas por el azufre

y se obtienen moldes que ofrecen una superficie interior mucho más suave.

### 2.1.1 Espesor, contracción

Las piezas de oro pueden fundirse cómodamente si, por lo menos, disponen de un espesor de 0.40 mm.

La plata es más ligera, se dobla más fácilmente y se dilata menos que el oro; esto permite que los modelos para plata puedan ser más delgados que los destinados a fundir piezas de oro.

Los defectos debidos a la aparición inesperada de zonas excesivamente delgadas son la gran pesadilla del modelista cuando ya está casi a punto de poner su pieza en producción.

En la mayoría de casos, estas áreas delgadas se deben a que se ha dejado un insuficiente exceso de espesor en el modelo de cera original, teniendo en cuenta la contracción o encogimiento que tendrá lugar más tarde. Para compensar la contracción y el material que será eliminado en las operaciones de limado, esmerilado y pulido, normalmente, el modelo debe disponer de espesores un 10% superiores a los de

la pieza que se pretende fabricar.

### 2.1.2 Acabado de modelo

Es una cuestión de sentido común. La calidad de la pieza obtenida a través de la fundición no puede ser mejor que la que presentaba inicialmente el modelo original. Por este motivo, el acabado del modelo debe ser lo más perfecto posible.

Inevitablemente, cualquier imperfección presente en el modelo original será transmitida al molde de caucho, al modelo de cera y por último, a la pieza fundida. Cualquier poro u otro defecto debe ser eliminado, aunque tenga que desecharse la pieza. Es preferible dedicar algunos minutos más al modelo que tener que emplear varias horas a repasar las piezas fundidas.

## 2.2 Fabricación del molde

La elaboración de un molde de caucho no resulta excesivamente difícil y constituye la columna vertebral de cualquier fabricante de joyería. A través del mismo pueden reproducirse miles de patrones de cera. Las piezas planas y

la mayoría de anillos resultan relativamente fáciles de reproducir. El proceso de fabricación es el siguiente:

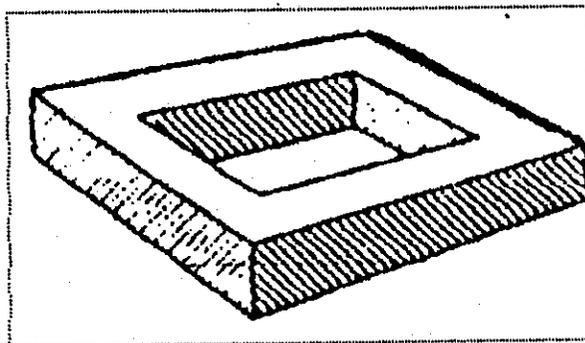
### 2.2.1 Corte de material

Se elige una lámina de caucho virgen, sin curar ni vulcanizar, y con la ayuda de unas tijeras, se cortan tiras cuyo ancho y longitud coincidan con el del interior del marco (En la figura 2 se muestra un marco sencillo).

En esta etapa, el caucho no es flexible si se estirara, podría romperse fácilmente. Sin embargo, después de vulcanizado adquiere una gran flexibilidad, puede cortarse fácilmente, presenta una elevada resistencia al desgarró, queda suave y proporciona moldes de larga duración.

Para determinar la cantidad de trozos de caucho necesarios, del espesor normalizado de 3.2 mm. se mide el espesor del marco. Como ejemplo, un marco de 25.4 mm. de espesor requiere ocho capas, cuatro a cada lado del patrón

Fig. 2 Marco sencillo, en una sola pieza



Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida.  
P. 102

### 2.2.2 Elección del marco según las dimensiones del modelo

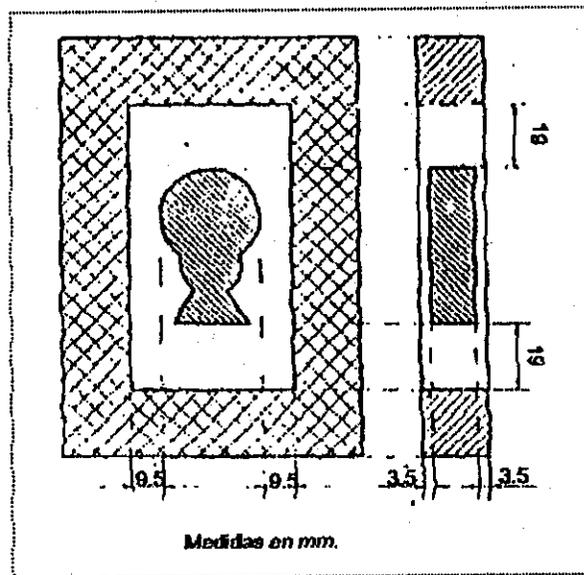
Al elegir un marco para moldes, debe tenerse en cuenta que entre el modelo y las partes superior e inferior del molde debe quedar un espesor de caucho de 3.5 a 6.5 mm.

La distancia entre los lados interiores del marco y la pieza también debe ser de 9.5 a 12.5 mm. (Figura 3).

Se retiran las telas de protección de todas las hojas de caucho, excepto las dos que deberán quedar en el fondo y en la parte superior. Las partes descubiertas se frotan con un paño limpio, impregnado de alcohol o gasolina, para eliminar

la suciedad que pudieran contener y se juntan en dos grupos; uno, de tres piezas y otro, de cuatro. Con la punta de las tijeras se marca la parte superior de las piezas de caucho y se introduce el primer grupo en el marco.

Fig. 3 Relación entre las dimensiones modelo:marco



Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida. P. 104

### 2.2.3 Bebedero

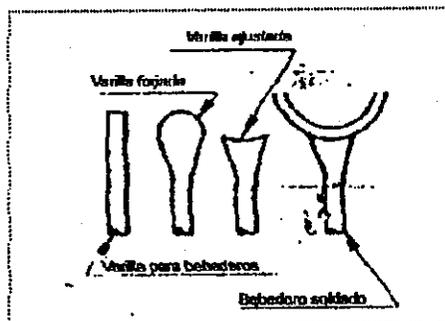
La varilla del bebedero suele ser de latón, de 2.5 a 3.5 mm. de diámetro, y normalmente, de unos 38 mm. de largo. Se suelda al modelo con soldadura de plata.

Se utiliza este tipo de soldadura porque las soldaduras blandas son más quebradizas y propensas a desintegración, debido a la exposición al calor durante el vulcanizado.

Antes de soldar, el extremo de la varilla que deberá unirse al modelo se forja para que se ensanche. Esto se hace para facilitar la entrada de la cera. La longitud de la varilla del bebedero dependerá del tamaño y forma del modelo. En la figura 4, se ilustra la preparación de un bebedero.

El modelo, limpio, pulido y si es posible, con un baño de rodio, se coloca en el centro del marco, sobre las láminas de caucho. Antes de colocar el modelo en el caucho, se espolvorea con talco fino, cargado en un cepillo de cerda rígido. Más tarde esta lubricación permitirá que pueda separarse más fácilmente del molde de caucho vulcanizado.

Fig. 4 Preparación de un bebedero



Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida. P. 120

Si se funde un anillo o cualquier otra pieza que presente un área interior grande, este espacio abierto debe rellenarse con caucho. Con el modelo descansando en medio de las placas de goma, se rellena el área abierta con tiras del caucho, limpiadas previamente con alcohol.

Después de llenar el interior del marco, se cubre el modelo con las láminas de caucho restantes, previamente limpiadas según se ha indicado anteriormente. También se añaden pequeños recortes de caucho, para rellenar todos los huecos. Algunos fabricantes de moldes taladran agujeros, de unos 3 mm. de diámetro, que atraviesan los cuatro lados del marco del molde. Esto libera el exceso de presión y permite la salida del caucho que sobra, sin afectar al modelo.

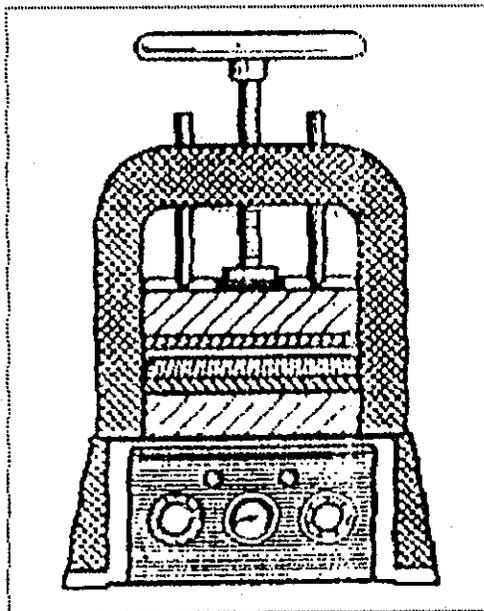
El caucho debe mantenerse limpio durante toda la manipulación, para que al final pueda obtenerse un bloque sólido. Después de todo esto, el caucho estará en condiciones de ser vulcanizado. La parte exterior de las láminas del fondo y de la parte superior se espolvorean con talco para evitar que se adhieran a las placas de la vulcanizadora.

### 2.3 Vulcanizado

La vulcanización en caliente fue descubierta por Charles Goodyear en 1839. Durante esta operación, el caucho endurece, mejora sus calidades de flexibilidad y elasticidad, fluye rellenoando todas las cavidades del modelo y del marco; todos los trozos se funden formando un bloque sólido de una sola pieza. Para ser vulcanizado adecuadamente, para moldes de joyería, el caucho debe calentarse y eventualmente, someterse a presión. Normalmente, esta operación se lleva a cabo utilizando una vulcanizadora (Figura 5). Esta máquina combina a un grupo de calentamiento con una prensa que mantiene el molde ensamblado mientras el caucho contenido es sometido a la acción del calor. Se dispone de diferentes modelos. Unos resultan adecuados para pequeños talleres y otros para fábricas.

Un modelo pequeño, típico, dispone de dos platos de prensa totalmente planos de aproximadamente 127 x 191 mm. y entre ambos, se alcanza una apertura máxima de 89 mm. Cuanto mayor es el plato de la prensa, mayor será el tamaño del molde que pueda acomodarse en la misma.

Fig. 5 Vulcanizadora



Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida.  
P. 123

El plato inferior permanece fijo en la base, mientras que el superior puede desplazarse hacia arriba y hacia abajo, de forma parecida a las mandíbulas de un tornillo de banco.

Hay modelos que disponen de dos, tres o cuatro guías que sostienen el plato superior lo suficientemente rígido para que, cuando se mueve o se fija, los dos platos permanezcan paralelos entre sí. Esto posibilita que la presión se reparta por igual en todo el molde. Ambos platos se calientan eléctricamente y se controlan de forma automática por medio de un termostato instalado en la base.

Ajustando mandos y controles pueden obtenerse temperaturas constantes de hasta unos 230°C.

Generalmente, disponen de termómetro y de luces piloto para indicar cuándo están trabajando. Se dispone de temporizadores automáticos, separados o montados en la vulcanizadora, que después de transcurrido un tiempo preestablecido, desconectan la corriente.

Con la ayuda del volante, dispuesto en la parte superior del vulcanizador, se procede de la siguiente forma:

- a) Primero se presiona muy poco, justo lo indispensable para mantener el marco para moldes ligeramente apretado.
- b) Después de unos cinco minutos, se presiona un poco más.
- c) A los quince minutos del inicio de la operación, se presiona tan fuertemente como sea posible.
- d) No es recomendable volver a presionar durante el resto del período de vulcanizado.

Para apretar sólo deben utilizarse las manos. Durante la operación de vulcanizado, el caucho se solidifica en una masa y tiende a contraerse. Si no se presiona, puede obtenerse un molde defectuoso.

### 2.3.1 Tiempo y temperatura de vulcanizado

El tiempo de vulcanizado varía según el tipo de caucho y el espesor del mismo. Los moldes delgados se pueden vulcanizar más rápidamente que los gruesos.

En lo que se refiere al tiempo y temperatura ideal para vulcanizar, deben seguirse exactamente las instrucciones facilitadas por los fabricantes de caucho, pero a título de orientación, el tiempo es de 5 a 7.5 minutos por cada capa de caucho y la temperatura queda comprometida entre 148 a 177°C y se debe añadir 5 minutos más al tiempo de vulcanizado total.

En la mayoría de casos, el vulcanizado se completa en un tiempo que suele oscilar entre 45 y 80 minutos.

Generalmente, se obtendrá un molde bien vulcanizado si se mantiene el marco en la vulcanizadora, por lo menos, durante 60 minutos. Puede decirse que el caucho está totalmente vulcanizado cuando, al presionarlo con la uña del pulgar, queda una marca permanente en su superficie. Si el caucho se deja demasiado tiempo en la vulcanizadora, sólo se conseguirá que se quemé la parte exterior.

También se puede arrancar un poco de caucho salido del interior del marco y sumergirlo en agua para que se enfríe. Si no se rompe fácilmente y se estira de forma parecida al verdadero caucho, es que ha sido vulcanizado adecuadamente.

Una vez completada la vulcanización, se extrae el molde de la vulcanizadora y se deja sumergido en agua, a temperatura ambiente, durante 15 ó 20 minutos, para que se enfríe.

### **2.3.2 Corte del molde**

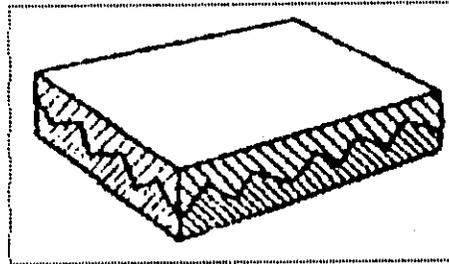
El corte del molde de caucho es bastante simple. Si se trata de un bloque macizo se corta por el interior del caucho.

De forma que las dos partes separadas, obtenidas por el corte, puedan juntarse de nuevo, perfectamente ajustadas y alineadas. Las dos partes deben quedar lo más iguales posible.

Se empieza seccionando todo el borde con un corte de diente de sierra (Figura 6).

Cortando el molde de esta forma, se facilita que las dos partes puedan volver a colocarse exactamente en su lugar y también proporcionará un mayor agarre cuando se inyecte la cera.

Fig. 6 Corte del molde de caucho



Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida.  
P. 127

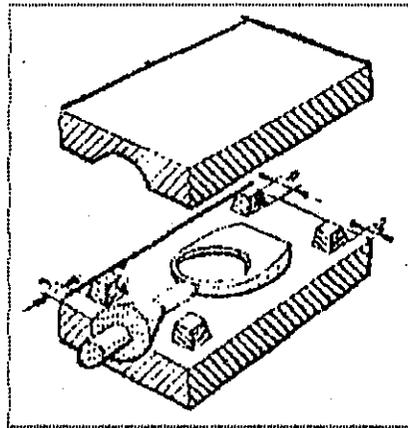
Luego, se hace un corte, de unos 3 mm. de profundidad, alrededor del centro del molde de caucho. Después se cortan cuatro partes interiores con el cuchillo recto o curvado. A medida que se va cortando, las partes interiores que van quedando a la vista se espolvorean con talco para evitar que se adhieran.

Se forma un grupo con los dos bordes más exteriores de las paredes cortadas, con un mínimo de 4.5 mm. de profundidad, apoyando directamente dentro el caucho. Seguidamente, se abre el caucho por los cortes y se cortan las dos caras de la parte interior, formando una figura

parecida a una pirámide truncada, unos 9 mm. de ancho para la base son suficientes. Esta operación se repite en las cuatro esquinas (Figura 7).

Una vez se ha realizado esta primera operación se pasa a considerar el verdadero trabajo: cortar el caucho para extraer el modelo.

Fig. 7 Molde cortado



Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida. P. 128

### 2.3.3 Extracción del modelo

El modelo está totalmente integrado en el interior del molde, de forma que no hay modo de estar absolutamente seguro de dónde se encuentra ubicado exactamente. Lo mejor que se puede hacer es confiar en la memoria y tratar de cortar el

molde, lo más profundo posible, hasta que aparezcan los primeros contornos del modelo. Una vez que la forma del modelo empieza a vislumbrarse, el cortador del molde, dentro de ciertos límites, puede elegir dónde dará los cortes finales. La forma del modelo determina la cantidad de cortes adicionales que se requerirán para abrir el molde y extraer el modelo.

Vamos a suponer que se ha utilizado un bebedero con el cono incorporado. Se empieza a cortar por el lado izquierdo del botón del bebedero. Se mantiene la cuchilla paralela con la superficie grande del molde, cortando lo largo del bebedero hasta llegar al modelo. Después de eso, se van dando siempre cortes largos, comenzando en el modelo y acabando en el borde del molde.

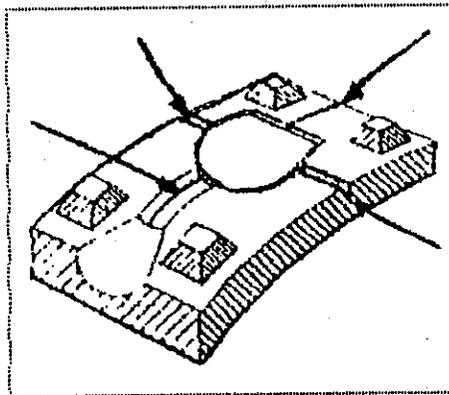
Se continúa cortando a lo largo de la línea de separación del modelo, hacia el borde del molde, progresando gradualmente alrededor del modelo siguiendo la dirección de las manecillas del reloj, hasta alcanzar el otro lado del bebedero para que el molde quede dividido en dos partes.

Los detalles extremadamente complicados requieren que el molde esté dividido en partes absolutamente iguales para que

el molde de cera pueda extraerse fácilmente. Además, para abrir el molde, pueden hacerse cortes en ángulo recto, de unos 3 mm. de profundidad, en la dirección principal del modelo y en las áreas exteriores. Estos cortes extras actúan como una doble bisagra (Figura 8), y al mismo tiempo, tienen otra importante finalidad: la de formar pasillos que permitan la salida de aire al inyectar la cera dentro de los moldes.

Las irregularidades de los cortes en la superficie de caucho también actúan como cuña de alineación para unir las dos partes del molde.

Fig. 8 Cortes de liberación

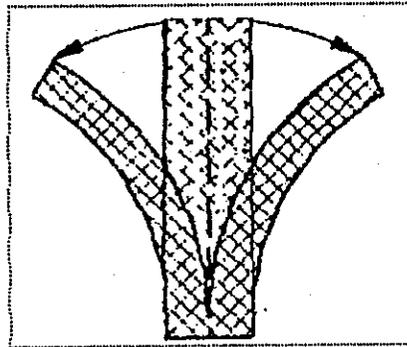


Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida.  
P. 129

#### 2.3.4 Corte bisagra

En algunos casos, uno de los bordes cortos del molde se deja sin cortar, lo que permite hacer de bisagra manteniendo juntas las dos partes del molde (Figura 9). Esto elimina la necesidad de disponer cuñas de alineación en el molde. Las salidas de aire deben cortarse desde la pieza moldeada hasta el extremo del molde.

Fig. 9 Corte bisagra



Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida.  
P. 129

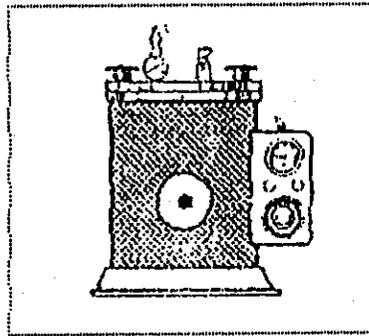
### 3. INYECTADO DE LA CERA

Cuando se inyecta la cera en el molde, el bebedero y el botón de boquilla automáticamente se convierten en parte del modelo de cera resultante y posteriormente, formarán parte de la pieza fundida.

La cera fundida se enfría demasiado de prisa para permitir un flujo por gravedad en todas las partes interiores de un molde profundo y mucho menos para reproducir los pequeños detalles. Tales moldes precisan de una inyección mecánica de la cera fundida. La cera puede inyectarse con una inyectora de cera o con la ayuda de una máquina centrífuga, exactamente como se hace con el metal; sólo que, en vez de inyectar metal fundido en un molde revestimiento, la cera fundida se inyecta en uno de caucho. Lo más sencillo es cuando se dispone de una inyectora de cera (Figura 10).

La inyectora de cera resulta adecuada para producciones elevadas. Un modelo típico dispone de tanque aislado con una capacidad para 950 cc. de cera fundida.

Fig. 10 Inyectora de cera



Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida.  
P. 138

Estos aparatos permiten controlar con precisión la temperatura de la cera, hasta unos  $140^{\circ}\text{C}$  y la presión de inyección puede variarse hasta alcanzar un nivel máximo de aproximadamente  $1 \text{ kg/cm}^2$ , dependiendo de si los moldes de caucho son finos o bastos, y de la velocidad a que pueda inyectarse la cera. Las máquinas inyectoras son caras, pero también son las más utilizadas.

Llevan incorporada una llave de purga que permite "sangrar" la cera o evacuarla totalmente, si es necesario cambiarla. Algunas de ellas disponen de una apertura pequeña en el tanque, a través de la cual debe decantarse la cera previamente fundida. En otras, esta apertura es lo suficientemente grande para permitir que a través de la misma pueda introducirse la cera bajo forma de tacos, sin que sea

necesario fundirla previamente.

Los modelos grandes, utilizados para elevadas producciones, disponen de una capacidad de hasta 3.8 litros. Pueden disponer de dos boquilla en vez de una, permitiendo que trabajen dos personas al mismo tiempo. Después de colar la cera en el tanque, o introducirla a granel, debe esperarse a que alcance la temperatura de trabajo antes de utilizarla.

Hay otro tipo de inyector más sencillo, con una bomba accionada manualmente, que también dispone de un control termostático de temperatura, muy adecuado para joyeros que produzcan pequeñas series.

### **3.1 Preparación del molde**

Los moldes de caucho deben disponer de una apertura de bebedero, a menos que se trate de moldes expuestos con impresiones de superficie simples, que permitan decantar la cera caliente directamente a la cavidad del patrón.

Antes de montar el molde de caucho para proceder a inyectar la cera, una de las mitades se espolvorea con talco, utilizando un cepillo de cerda rígido. Esto ayudará a

extraer el modelo de cera. El molde debe empolvase de nuevo con talco después de que se hayan inyectado cinco modelos de cera o después de cada modelo.

La técnica a seguir para la aplicación del talco es la siguiente:

- a) Se dobla el molde de caucho de forma que los cortes del mismo se abran todo lo posible.
- b) Se aplica el talco sobre el modelo de joyería impreso en el caucho, dentro de los cortes.
- c) Se elimina el exceso de talco golpeando ligeramente el molde de caucho contra el banco de trabajo. Si la cantidad de talco depositada en el molde es excesiva, podría ser causa de rebabas en el patrón de cera, al no permitir un perfecto ajuste entre ambas partes y también podría perderse algún detalle.

A pesar de todos los inconvenientes, el método del talco es el más aconsejable para las series grandes, y cuando se adquiere una cierta práctica, resulta más rápido y barato que los demás sistemas.

### 3.2 Cera para inyectar

Para trabajar con la inyectora, se emplea una cera especial, diferente a la que se utiliza para esculpir los modelos originales; funde y solidifica más rápidamente, proporcionando un líquido más o menos viscoso.

Debe reunir las siguientes propiedades:

- 1) Zona de fusión razonablemente baja, preferentemente entre 55 y 75°C.
- 2) Una vez fundida debe quedar fluida y ser fácil de vaciar o de inyectar.
- 3) Debe solidificar rápidamente, sin adherirse en el molde.
- 4) Debe contraerse lo menos posible al solidificar.
- 5) Incluso tibia, debe ser relativamente sólida y dura, para que pueda extraerse fácilmente de moldes complicados.
- 6) Su superficie debe ser lisa, no cristalina.
- 7) Su composición y propiedades no deben modificarse, ni siquiera cuando se mantiene durante largo tiempo a elevadas temperaturas.
- 8) Al calentar el molde de yeso, debe derramarse fácilmente del cilindro, por fusión, y desaparecer por combustión,

sin alterar el revestimiento ni dejar residuos de ceniza.

- 9) No debe ser propensa a formar cavidades.
- 10) Debe conservar todos sus detalles, y después de solidificar, ser suficientemente dura para permitir su manipulación hasta ser puesta en revestimiento.

Se dispone de ceras para inyectar, en diferentes colores y también en distintos grados de dureza y flexibilidad, para usos especiales. La cera de color verde es la preferida por muchos fundidores porque este color facilita la detección de imperfecciones en los patrones.

### 3.2.1 Presión y temperatura de la cera

Para forzar la entrada de la cera en el molde, se utiliza presión de aire o presión hidráulica. Esta presión debe ser lo más baja posible. Generalmente, para llenar de cera las cavidades de un molde de caucho, suele ser suficiente una presión de unos  $0.24 \text{ Kg/cm}^2$ . Para inyectar patrones gruesos, se recomienda una presión de  $0.38 \text{ Kg/cm}^2$ . La presión suministrada por la mayoría de inyectoras suele quedar dentro de un rango comprendido entre  $0.2$  y  $1 \text{ Kg/cm}^2$ .

Si se aplica demasiada presión, el molde de caucho puede deformarse y pueden inyectarse burbujas de aire en la cera. Por el contrario, si es demasiado débil, al pasar al estado sólido se producirá una contracción excesiva, característica en las ceras.

La cera se inyecta a una temperatura ligeramente superior a su punto de fusión y se mantiene constantemente fluida, pero a una temperatura lo más baja posible.

Debe controlarse la temperatura de la cera y mantenerse según las instrucciones facilitadas por el fabricante. Si se calienta demasiado, pueden alterarse sus propiedades y resultar muy quebradiza al separarla del molde. Para la mayoría de ceras, la temperatura de inyección debe estar comprendida entre 60 y 74°C.

Variando las condiciones de presión y temperatura de la cera, también varían los resultados.

### 3.3 Extracción del patrón de cera

La cera debe separarse del molde justo en el momento que endurece. El molde se debe enfriar, de 1 a 5 minutos, según

el espesor del modelo y del tipo de cera utilizado. Si el molde se abre antes de tiempo, la cera se desgarrará; si se abre demasiado tarde, la cera se vuelve quebradiza y se rompe.

Con el pulgar se levanta una esquina del molde, para iniciar la separación de las dos mitades y la extracción del patrón de cera. Al abrir el molde, el patrón de cera debe aparecer alojado en la mitad inferior, más gruesa. Si se ven rebabas en la cera, deberán cortarse con un bisturí, mientras el patrón sigue en la mitad inferior del molde.

Si ambas partes del molde se adaptan adecuadamente y se presionan una contra otra, no deben aparecer rebabas. Si, a pesar de todo, las rebabas persisten esto indicará que el molde está en malas condiciones y puede ser necesario sustituirlo por otro nuevo.

Se dobla la mitad inferior del molde, para liberar el modelo de cera de las cavidades. Debe evitarse doblarlo excesivamente ya que esto podría provocar la deformación o rotura del patrón de cera, especialmente si se trata de piezas calibradas, como los anillos. También puede provocar un desgaste innecesario del molde y reducir su duración. Si

se produce alguna deformación en el patrón, debe corregirse inmediatamente, mientras la cera todavía está tibia.

El patrón de cera se examina a contraluz, para determinar si su espesor es uniforme. Las variaciones en el espesor se apreciarán a través de diferencias de color.

Si durante la inyección de la cera las dos partes del molde se presionan excesivamente, algunas áreas del patrón de cera pueden quedar muy delgadas, y posteriormente, presentar dificultades al fundir.

También debe comprobarse si hay algún defecto en la superficie de la cera. Si un defecto no puede eliminarse fácilmente, lo mejor es rechazar el patrón. No vale la pena utilizar un patrón de cera defectuoso teniendo en cuenta el tiempo y el material que se perderán innecesariamente. Debe trabajarse únicamente con patrones de cera perfectos.

### 3.3.1 Técnica para dar forma a la cera

Para obtener modelos únicos de formas agradables y estéticas, se utilizan técnicas relativamente sencillas, y con un poco de práctica, deberían ser rápidamente dominadas

por aprendices y principiantes.

El calor juega un papel esencial en el modelado de la cera. El grado en que la cera se expone a una fuente de calor determina si simplemente se ablanda o se derrite su superficie. Entre los métodos de manipulación que utilizan calor, el más importante es la soldadura, realizada con o sin la ayuda de herramientas, que se utiliza para unir las diferentes partes en su posición exacta.

En lo que se refiere a la cera, la soldadura se lleva a cabo aplicando calor a los puntos de unión, ya sea directamente con la llama, o si se desea un mayor control, con una herramienta caliente.

Las láminas de cera pueden unirse a tope o solapadas. La unión o soldadura debe ser total, actuando en toda la zona de contacto, ya que si no es así proporcionará una estructura débil. Los alambres y varillas de cera se sueldan de forma parecida a la indicada para las láminas, pasando una herramienta caliente a lo largo del punto de unión.

La fusión se obtiene calentando la cera, con el objeto de que corra y cambie de forma, o para ablandarla lo

suficiente para que se adhiera a otras superficies.

La cera, de cualquier forma o combinación de formas, puede colocarse superpuesta a otro patrón del mismo material y calentar el conjunto con una llama, aplicada desde la parte superior, para fundirla hasta que forme un solo cuerpo. Las formas obtenidas por este procedimiento pueden ser utilizadas para la creación de modelos originales. La fusión también puede llevarse a cabo sobre superficies modeladas para lograr formas particulares.

Al final, la cera puede eliminarse con limas especiales para cera, no embotables, o con un raspador o lima de dientes curvados, de un grosor apropiado al material.

### 3.4 Montaje de las ceras

En una producción repetitiva resulta rentable utilizar un cilindro lo más grande posible y llenarlo con tantas ceras como puedan acomodarse en el mismo, para fundirlas de una sola vez.

Las copias de cera para la fundición se colocan en una bandeja de caucho o de metal. Básicamente se utiliza el

sistema que se explicará a continuación para montar varios modelos al mismo tiempo.

### 3.4.1 Montaje en árbol

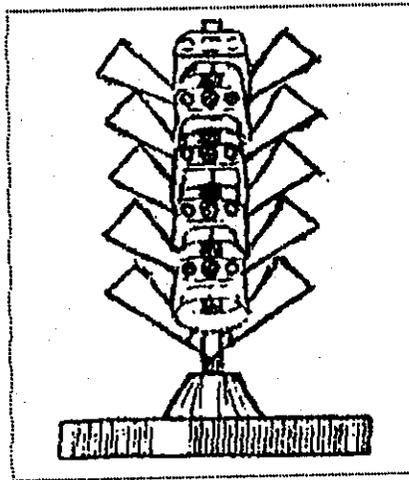
El montaje en árbol es un sistema que se caracteriza por la fijación de muchos patrones de cera de pequeñas dimensiones, alrededor de un grueso bebedero central, de cera dura, colocado verticalmente y sujeto en el centro de una base de goma, con una elevación cónica en el centro. A medida que se van fijando los patrones de cera, el conjunto va adquiriendo la forma de un árbol.

Al colocar los patrones de cera en el árbol, debe procurarse que éstos queden en ángulo, apuntando hacia la parte contraria a la base, en vez de apuntar en dirección a la misma. De esta forma la cera se elimina más fácilmente, y más tarde, el metal fundido fluirá más suavemente llenando todas las cavidades del molde.

La gran mayoría de fundidores comerciales acoplan sus modelos de cera al árbol según se muestra en la figura 11, lo cual parece tener cierta lógica. El extremo del bebedero de cada patrón de cera se une al bebedero central, empezando

desde la parte baja y siguiendo hacia arriba. Finalmente, la parte sobrante del bebedero central se corta en el punto donde se conecta el último modelo.

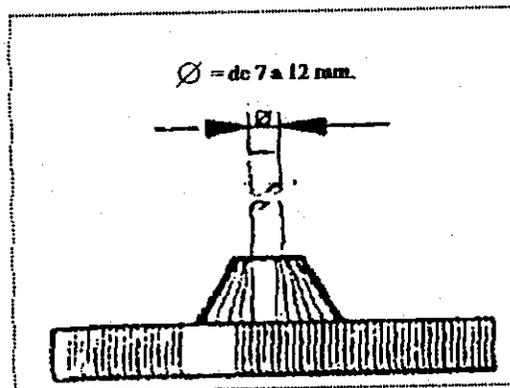
Fig. 11 Montaje en árbol



Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida. P. 148

Es de suma importancia que el bebedero principal disponga de un perfil transversal lo suficientemente grueso, de 7 a 12 mm. para permitir que el metal pueda llenar los patrones conectados al mismo, y si es necesario, proporcionar metal adicional cuando se produce la solidificación (Figura 12). Si es así, tanto la contracción como la porosidad de las piezas quedarán notablemente reducidas.

Fig. 12 Diámetro del bebedero central



Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida.  
P. 148

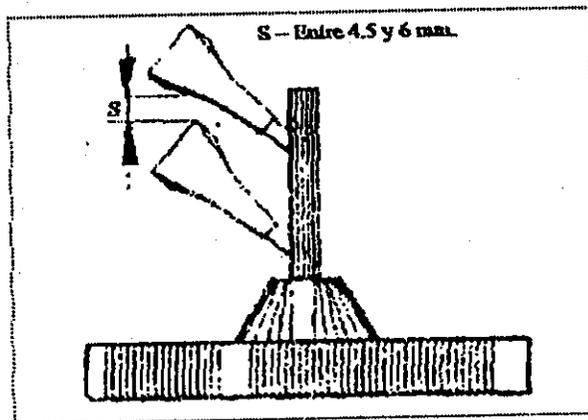
La conexión del bebedero al árbol es muy simple si cada una de las piezas a fundir dispone de su propio bebedero. El perfil transversal del bebedero de cada patrón de cera debe contactar totalmente con el bebedero central, de modo que la apertura a través de la cual fluirá el metal fundido sea la máxima.

La cantidad total de metal que puede utilizarse en esta clase de fundición queda limitada únicamente por la capacidad de la máquina de fundir y del crisol utilizado con la misma.

Los patrones de cera se distribuyen de forma que entre ellos y las paredes del cilindro, quede una distancia de 6.5 a 9.5 mm. Entre los patrones debe dejarse un espacio

suficiente para evitar que el yeso que queda entre ellos pueda romperse bajo la presión de la fuerza centrífuga. Un espacio de 4.5 mm. es el espesor más delgado permisible entre las ceras, pero 6.00 mm. es más seguro (Figura 13).

Fig. 13 Distancia entre patrones



Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida. P. 149

Una vez montados y limpios, los patrones se acoplan a una base de alimentación, de forma que puedan encerrarse en un recipiente para ser recubiertos con un compuesto de yeso refractario conocido como *revestimiento*.

### 3.5 Herramienta eléctrica para soldar la cera

Las herramientas eléctricas para soldar la cera pueden programarse por medio de controles termostáticos, de forma

que mantengan la temperatura deseada para esculpir, soldar bebederos, texturar, alisar o realizar cualquier forma de trabajo y de acabado del modelo, en cualquier clase de cera.

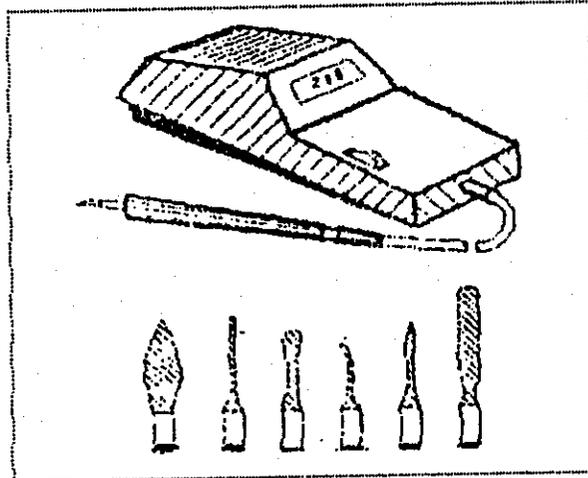
Están disponibles con diferentes formas, de puntas intercambiables. También pueden fabricarse partiendo de un pequeño soldador eléctrico, como los que se utilizan en la industria electrónica, preferiblemente de punta reemplazable, con sujeción a tornillo.

Se corta un pequeño trozo de hilo de cobre, de 3 a 3.25 mm. de espesor, y se inserta en la apertura. El extremo saliente se aplana dándole la forma de la espátula y la punta se redondea.

El conjunto se conecta a un reostato de poca potencia, del tipo de los que pueden adquirirse en las tiendas que suministran artículos para trabajos manuales de aficionados. Para obtener la temperatura deseada, se gira el mando de control y se ensaya la espátula caliente, aplicándola a un taco o bloque de cera, hasta alcanzar el grado de calor deseado.

En la figura 14, se muestra un aparato eléctrico para soldar la cera, con espátulas intercambiables.

Fig. 14 Micromatic eléctrico

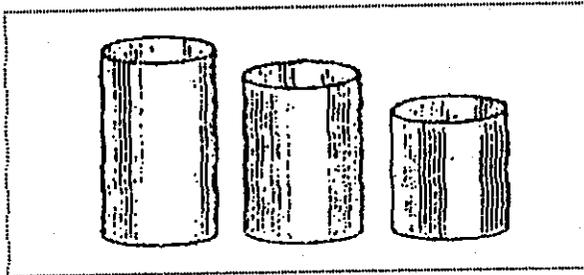


Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida.  
P. 95

## 4. LOS CILINDROS

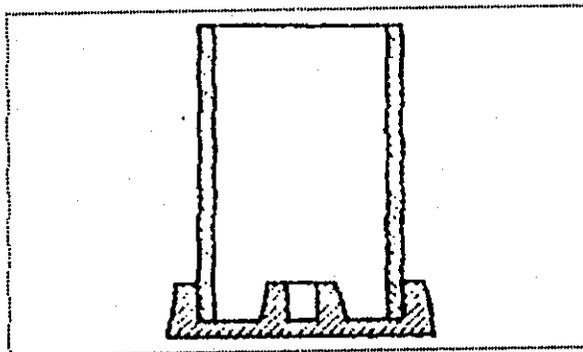
Después de unir los modelos o patrones de cera a las bases de alimentación, los cilindros (Figura 15), se encajan en la hendidura de la correspondiente base, de forma que la papilla de recubrimiento pueda verterse dentro de los mismos sin que se salga (Figura 16).

Fig. 15 Cilindros



Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida.  
P. 161

Fig. 16 Colocación del cilindro en la base



Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida.  
P. 158

Cuando se utilizan bases de alimentación gastadas, defectuosas o excesivamente holgadas, los eventuales huecos pueden taparse con arcilla de modelar o con cera fundida.

El cilindro, para contener el revestimiento con el molde, puede fabricarse, sin costura, con chapa de acero de bajo contenido de carbono, de 1.3 mm. de espesor. El uso repetido de los cilindros de acero al carbono acelera su oxidación y deterioro, por lo que es preferible sustituir este material por acero inoxidable que, aunque sea más caro, proporciona una mayor duración y es capaz de soportar temperaturas más altas sin desintegrarse. Estos cilindros son los más utilizados para fundiciones de tipo comercial.

La altura y diámetro del cilindro es lo que limita las dimensiones de las piezas que pueden fundirse en el mismo. Frecuentemente, cuando se trata de modelos originales, el fundidor prefiere utilizar un cilindro pequeño y revestir una sola pieza, porque puede controlar mejor la operación. Cuando se trata de piezas de serie, para reducir el número de operaciones, se utilizan cilindros más grandes.

Algunas medidas típicas de cilindros, normalmente disponibles en las firmas especializadas en este tipo de

suministros, son las siguientes:

<u>ALTURA</u>	<u>DIÁMETRO</u>
57 mm.	44 mm.
67 mm.	60 mm.
64 mm.	76 mm.
70 mm.	89 mm.
102 mm.	86 mm.
146 mm.	102 mm.

Antes de comprar cilindros, debe calcularse el diámetro y la longitud máximos que pueden alojarse en la centrífuga. Para cada diámetro de cilindro, debe utilizarse una base de acuerdo con las medidas del mismo.

#### 4.1 Material de revestimiento

La obtención de un molde de material refractario, cubriendo los modelos de cera, recibe el nombre de revestido y el material utilizado, revestimiento.

El significado literal de la palabra "revestir" es rodear, envolver o embeber. Esto es exactamente lo que ocurre en la fundición con revestimiento, en la que el

material del molde de yeso, llamado también revestimiento, rodea totalmente al molde formando una sustancia compacta. La naturaleza viscosa del revestimiento, cuando se prepara como una suspensión, es lo que posibilita la fundición de un modelo de cualquier forma concebible. En todos los métodos de fundición en los que se emplea un modelo de cera revestido, como en la fundición centrífuga, la fundición a presión y la fundición al vacío, la pieza fundida no puede extraerse del molde sin destruirlo totalmente. En cualquiera de estos métodos citados, el molde puede utilizarse una sola vez.

Un revestimiento de calidad, para fundir piezas de joyería, por encima de todo, debe ser capaz de resistir los 760°C que se requieren para eliminar la cera, los 980°C necesarios para inyectar el oro, y soportar la presión ejercida por el metal fundido sin quebrarse ni descascarillarse, forzado por la acción del vacío o de la fuerza centrífuga. Debe dilatarse ligeramente al fraguar, para que presione contra las paredes del cilindro y los modelos de cera, para facilitar la obtención de una impresión exacta del modelo original. Debe ser lo suficientemente poroso para dejar escapar los gases antes de que penetre el metal fundido y presentar una conductibilidad térmica

aceptable.

El oro se contrae cerca del 1.25% cuando se funde y se han estudiado fórmulas para yesos de revestimiento, que al calentarse antes de la fundición, proporcionan una dilatación de aproximadamente el 1.4%, que compensa casi exactamente la contracción de la aleación de oro en la fundición.

El revestimiento en polvo tiene un aspecto parecido al yeso ordinario; se mezcla con agua y se manipula como el yeso. Proporciona un contacto con el modelo, duro y muy suave. También se disuelve con bastante facilidad después de finalizar el inyectado del metal. No debe producirse reacción alguna entre el revestimiento y el metal en fusión, ni siquiera en presencia de restos de cera. No debe contener ningún producto corrosivo o ácido que proporcione subproductos que puedan perjudicar el horno, los cilindros o las piezas fundidas.

Los revestimientos Roma, Kerr Satin y Ultra RyR, son tres excelentes productos utilizados por los joyeros. Actualmente pueden adquirirse en las firmas especializadas.

#### 4.2 Relación agua : polvo de revestimiento

El revestimiento en polvo se mezcla con agua. Esta mezcla recibe el nombre de "purín". La proporción agua:revestimiento en polvo, utilizada al mezclar la suspensión de revestimiento, es muy importante porque determina las propiedades físicas y el tiempo de fraguado del yeso. Los fundidores de joyería comercial deben utilizar siempre la adecuada proporción agua:revestimiento, a fin de obtener una fundición uniforme. El peso exacto, los tiempos empleados en la mezcla y en el fraguado, son factores muy importantes.

Todos los fabricantes de revestimiento especifican la proporción agua:revestimiento en polvo que debe utilizarse con su producto, así como los tiempos de mezclado. Sus recomendaciones para joyería suelen ser parecidas a las que se citan seguidamente.

<u>Peso revestimiento</u>	<u>agua al 38%</u>	<u>agua al 40%</u>	<u>agua al 42%</u>
Por cada 100 grs.	38 cc.	40 cc.	42 cc.

Para fundir piezas muy finas y complicadas, generalmente se puede añadir un poco más de agua al revestimiento (hasta un 2%), a fin de obtener un purín más fino que pueda

introducirse en las más pequeñas cavidades.

La mayoría de fundidores emplean el 40% de agua, es decir 40 cc. de agua por cada 100 de revestimiento. Para fundiciones más gruesas y pesadas, la cantidad de agua se reduce ligeramente (un 2%), para obtener un purín algo más denso y robusto.

Para determinar el volumen de un cilindro redondo, puede aplicarse la fórmula siguiente:

$$\text{Volumen} = \text{diámetro}^2 \times \text{altura} \times 0.7854$$

Para pesar el polvo de revestimiento, debe utilizarse una balanza de precisión con divisiones de gramo, y aunque 1 cc. de agua pesa 1 gramo, el método más simple para medir el agua es utilizando una probeta graduada en centímetros cúbicos.

Para determinar el peso del agua necesaria para llenar un cilindro que contenga uno o varios patrones de cera, se llena cuidadosamente el cilindro con agua, a temperatura ambiente, y seguidamente se pasa el agua a:

- 1) Una probeta graduada; el número de cc medidos coincidirá con el número de gramos. Éste será el peso de agua requerida.
- 2) Un recipiente previamente tarado que, una vez ha recibido el agua, se vuelve a pesar y se le resta el peso de la tara. La cantidad resultante coincidirá con el peso real del agua.

Cualquier desviación de las proporciones sugeridas dará por resultado cambios en el grado de dilatación, y por lo tanto, un cambio en las dimensiones de las piezas fundidas y posiblemente un yeso débil que podría agrietarse.

El exceso de agua debilita la resistencia del yeso fraguado o puede hacer que aparezcan marcas de agua en la pieza fundida. Una suspensión demasiado espesa, debido a un exceso de revestimiento, puede hacer mal contacto con la superficie del modelo o que el cilindro no se llene adecuadamente.

4.2.1 Cálculo del agua y del revestimiento necesarios para llenar un cilindro de capacidad desconocida

- a) Se llena el cilindro con agua, hasta sobre pasar la mitad del mismo en unos 10 mm.
- b) El agua del cilindro se traslada a una probeta graduada, para determinar su volumen en centímetros cúbicos.
- c) Los centímetros cúbicos determinados en la operación anterior se multiplican por 100 y el resultado se divide por 38, 39, 40, 41 ó 42, según sea el porcentaje de la proporción de agua indicada por el fabricante o sea:

$$\text{Gramos de revestimiento} = \frac{\text{Agua en cc} \times 100}{\% \text{ indicado por el fabricante}}$$

Ejemplo: Si para llenar un cilindro (según se ha indicado en (a)) son precisos 400 cc, multiplicaremos esta cantidad por 100 y el resultado que obtenga lo dividiremos por 40 (el porcentaje de agua más habitual entre todos los utilizados), entonces tendremos:

$$\begin{aligned} \text{Gramos de revestimiento} &= \frac{400 \text{ cc} \times 100}{40} \\ &= 1000 \text{ gramos de revestimiento} \end{aligned}$$

#### 4.3 Preparación de la mezcla de revestimiento

Se mide el agua y se vierte en un tazón de caucho para mezcla. Las cantidades pequeñas pueden mezclarse en un tazón de caucho pequeño; los tazones grandes se emplean para mezclar cantidades destinadas a cilindros de gran capacidad.

Los tazones de caucho son más fáciles de limpiar, después de que los residuos de yeso fragüen y endurezcan; basta con flexionar la goma y se desprenden.

Se mide la cantidad necesaria de revestimiento. Debe prepararse una cantidad algo superior a la que se estime necesaria para llenar el cilindro, ya que todo el revestimiento que se utilice debe haber sido preparado al mismo tiempo.

Añada siempre el revestimiento al agua, y no lo contrario, para asegurar siempre un mojado rápido del revestimiento y una consistencia suave de la suspensión. Las temperaturas del agua y del polvo deben quedar entre 21 y 26°C (23°C es la ideal).

Evite las burbujas de aire en la mezcla porque, como ya

se ha indicado anteriormente, tiende a adherirse a la superficie del modelo de cera y transformarse en cavidades en el molde y posteriormente, en defectos de las piezas fundidas. Cuando se sigue el procedimiento correcto el revestimiento se combina suavemente con el agua, sin formar grumos.

#### 4.3.1 Operación y tiempo de mezclado

El contenido del tazón puede mezclarse con una cuchara o una espátula manual o mecánica, aunque si se utiliza esta última, debe evitarse que se introduzca demasiado aire en la mezcla. Una mezcla más suave, con menos burbujas de aire (muy frecuente con la agitación manual), puede obtenerse utilizando un agitador mecánico accionado manualmente o que gire por medio de un brazo de manivela conectado a un apoyo empotrado.

Los mezcladores eléctricos deben girar a unas 120 rpm, y ponerse en marcha antes de añadir el revestimiento al agua, ya en el tazón de mezcla. Si no se dispone de un agitador mecánico, el tazón se mezcla de yeso de caucho puede sujetarse con una mano, mientras que con la otra se sigue agitando.

La mezcla del revestimiento debe hacerse muy cuidadosamente para disponer del máximo tiempo de trabajo antes de que fragüe y que adquiera la consistencia adecuada para asegurar la precisión. Este es un paso crítico. El tiempo de trabajo disponible para la preparación del revestimiento debe ser conocido por el operador, ya que esta operación debe completarse antes de que el yeso fragüe.

En una gran mayoría de casos, el tiempo de trabajo útil suele ser de unos 10 minutos, que pueden dividirse como sigue:

- 3 ó 4 minutos para mezclar el revestimiento;
- 2 ó 3 minutos para eliminar las burbujas de la suspensión;
- 30 segundos para vaciar la suspensión en el cilindro;
- 1 minuto y 30 segundos para eliminar las burbujas del cilindro;
- Medio minuto para coronar el cilindro haciendo llegar la suspensión hasta la parte superior;
- 1 minuto 30 segundos para que el yeso se siente.

Esto significa que desde el momento en que el revestimiento se mezcla, hasta que empieza a endurecer

transcurren unos 9 minutos.

Si se emplea menos tiempo del necesario, el agua puede separarse del revestimiento. Al contrario, si el tiempo es demasiado largo, el revestimiento endurecerá antes de que pueda cubrir adecuadamente los patrones de cera.

#### 4.4 Quemado

El propósito del proceso de quemado es eliminar la cera y la humedad del molde sin estropear el revestimiento situado alrededor de las cavidades dejadas por el modelo. Una segunda función del proceso de quemado es la de tratar el revestimiento de modo que pueda soportar el choque térmico del metal fundido.

Durante el quemado, ocurre lo siguiente:

Debido al calor, la cera y el material de revestimiento se dilatan, aunque sin ejercer una presión excesiva que pueda agrietar el revestimiento.

Proporcionalmente, la cera se dilata más que el revestimiento, causando tensión y presión en el mismo; este

es uno de los motivos por lo que se aconseja que la temperatura no suba de forma excesivamente rápida.

La etapa de quemado, si se compara con todas las demás que intervienen en el proceso, es la más simple. No obstante, resulta fundamental y es la que da su nombre al proceso: "fundición a la cera perdida".

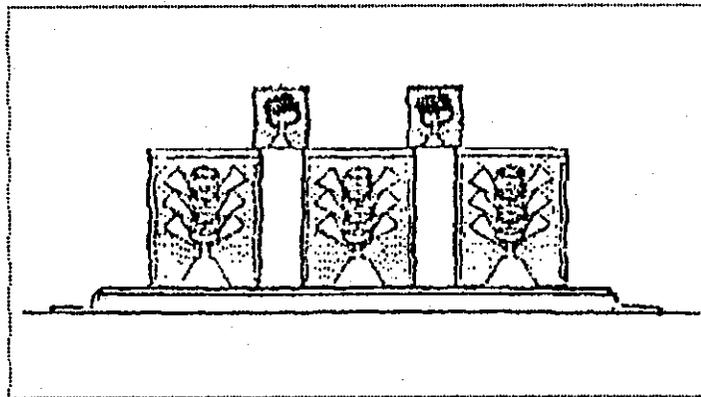
El quemado de los cilindros debe llevarse a cabo mientras el revestimiento sigue todavía húmedo. Con el calor, el agua contenida en el yeso se transforma en vapor que empuja la cera, separándola de las paredes de las cavidades dejadas por los patrones o modelos de este material. El vapor también colabora en la distribución uniforme del calor a través de todo el contenido del cilindro.

En cambio, si la operación se realiza después de que el yeso se haya secado, el revestimiento tenderá a resquebrajarse, y además, puede actuar como una esponja, arrastrando la cera hacia su interior, a través de sus poros. Por otro lado, si se introduce un cilindro con el revestimiento húmedo en un horno precalentado, tenderá a explotar a causa de la acumulación de la presión de vapor.

Los cilindros, con el revestimiento y el modelo o los patrones de cera en su interior, se introducen en el horno de quemado, con el extremo que muestra la cera en la parte inferior (Figura 17). La entrada del bebedero, situada en la parte inferior, además de permitir la fácil evacuación de la cera fundida, calienta la apertura del bebedero de modo que la convierte en la parte más caliente del molde.

El calor ayuda a evitar la solidificación del metal fundido en el bebedero antes de que la cavidad se haya llenado.

Fig. 17 Colocación de los cilindros en el horno



Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida. P. 197

Si se queman varios cilindros al mismo tiempo, debe procurarse que no se toquen entre ellos ni entren en contacto

con las paredes del horno.

Cuando se trata de cilindros que deben trabajar a diferentes temperaturas, se distribuyen de forma que los que requieran temperaturas más bajas queden en el fondo del horno, y delante de los mismos, se colocan los que deberán utilizarse a una temperatura más elevada, de esta forma se podrán extraer primero los que requieran una temperatura más alta y a continuación, se deja bajar la temperatura del horno, para los demás.

#### 4.4.1 Hornos para quemado

Aunque cualquier horno, a gas o eléctrico, cuya temperatura pueda controlarse para que no sobrepase los 760°C, puede ser utilizado para eliminar la cera.

Debe tenerse en cuenta que una atmósfera excesivamente reductora propiciará la producción de capas de carbón y azufre en las superficies interiores del molde. Después de la fundición esto dará lugar a piezas porosas.

Lo ideal es un horno de carga frontal, con mufla calentada a gas, ventilado y que disponga de un piso adecuado

para facilitar la eliminación de la cera y la circulación del aire.

#### 4.4.1.1 Hornos de gas

Si se dispone de gas, éste es el tipo de horno preferido por los grandes fundidores comerciales de joyería. El gas es más barato que la electricidad y el calor que proporciona puede ser controlado de forma rápida y segura. Los hornos grandes disponen de una puerta contrabalaceada para facilitar su abertura.

La superficie inferior del interior del horno suele disponer de listones o costillas, para facilitar la evacuación de la cera y la circulación del aire.

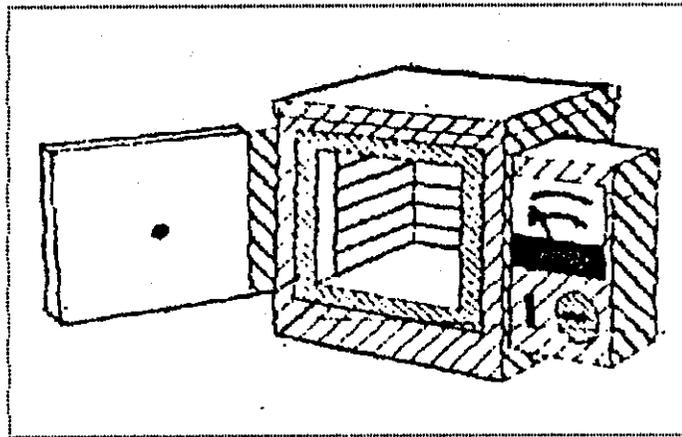
Se dispone de hornos para uso comercial, con una capacidad interior lo suficientemente amplia para que puedan contener hasta 80 cilindros a un mismo tiempo.

#### 4.4.1.2 Hornos eléctricos

Escuelas, artesanos y pequeños fabricantes de joyería pueden usar hornos eléctricos de tamaño pequeño (Figura 18).

Con frecuencia se emplean hornos del tipo de los que se utilizan para esmaltar, pero la humedad de la fundición y la cera quemada se depositan en los elementos calefactores, reduciendo la vida de los mismos y dejando su interior totalmente inservible. Si se utiliza un horno de este tipo, debería protegerse su interior con una mufla de dimensiones adecuadas.

Fig. 18 Horno eléctrico



Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida. P. 199

#### 4.5 Ciclos de quemado

El quemado, en este sentido, consiste en el tratamiento térmico del compuesto de yeso para hacerlo insoluble al metal fundido. Para lograr esto, se sigue un ciclo de quemado que puede dividirse en tres, cuatro o cinco niveles de

temperatura.

A grandes rasgos es el siguiente:

- Los cilindros se introducen en el horno, a temperatura ambiente.
- La temperatura va aumentando, lentamente, en varias etapas, hasta alcanzar la temperatura máxima.
- Queda estabilizada en el punto máximo, donde se mantiene durante un período determinado.
- Desciende a la temperatura de inyección.
- Se estabiliza a la temperatura de inyección.

La temperatura requerida se alcanza subiendo lentamente, durante algunas horas, hasta eliminar totalmente la cera, el carbón y los gases. Seguidamente, desciende hasta alcanzar el punto óptimo para recibir el metal fundido.

En caso necesario, la temperatura de fundición o de inyección, puede mantenerse durante bastantes horas sin dañar al revestimiento ni las piezas fundidas.

El proceso de quemado comienza cuando los cilindros con el revestimiento, que se ha dejado secar durante unas dos

horas, todavía está húmedo.

Esta operación no debe comenzar antes de tiempo, ni la temperatura del cilindro debe subir muy de prisa porque, una evaporación excesivamente rápida, podría hacer que el material de revestimiento se dilatara demasiado y se agrietara. El desplazamiento excesivamente rápido de la cera también puede ser causa de erosiones en el detalle del molde.

Así pues, partiendo de temperatura ambiente, se deja que vaya subiendo gradualmente hasta que la cera empieza a fluir. Gran parte de la cera se elimina entre los 93 y 148°C y sale a través de las aberturas del alimentador. Precisamente, entre estas dos temperaturas, es cuando se produce mayor dilatación, tanto del revestimiento como de la cera. Si la temperatura sube demasiado rápido, la excesiva presión de vapor y de la dilatación de la cera pueden agrietar el revestimiento.

En cambio si se calienta lentamente, el agua, bajo forma de vapor, puede escapar a través de los poros del revestimiento.

En esta primera etapa, la temperatura suele subir hasta

los 120°C, aunque, en ocasiones, puede llegar hasta los 260°C. En general, se considera que la temperatura ideal, en esta primera etapa, está en los 148°C, que queda por encima del punto de fusión de todas las ceras y permite eliminar toda la humedad del revestimiento bajo forma de vapor.

La cera que sale de los cilindros, debe sacarse del horno antes de que la temperatura sobrepase los 148°C, mientras esté por debajo del punto de inflamabilidad, para evitar que arda. No debe dejarse que arda porque el humo daña los elementos del horno.

La eliminación de la cera del cilindro sólo debe llevarse a cabo cuando pueda procederse inmediatamente después a inyectar el metal fundido en el molde. Si a continuación del proceso de quemado sigue un lapso de tiempo en el que no se protege el molde en una atmósfera húmeda, éste se agrietará, y al recalentarlo para admitir el metal fundido, las grietas se abrirán y las piezas fundidas aparecerán con rebabas.

Los tres ciclos de quemado que se citan a continuación, son utilizados para trabajar con grandes y pequeñas series, en hornos que puedan llegar a contener de 3 hasta 50

cilindros al mismo tiempo.

Ejemplo 1:

1 hora a	120°C	2 horas mantenidos a	732°C
1 hora para alcanzar los	315°C	1 hora para descender a	621°C
1 hora para alcanzar los	537°C	1 hora para descender a	565°C
1 hora para alcanzar los	732°C	1 hora para descender a	510°C

Ejemplo 2:

1 hora a	204°C	2 horas mantenidos a	760°C
1 hora para alcanzar los	426°C	1 hora para descender a	593°C
1 hora para alcanzar los	760°C	1 hora mantenidos a	593°C

Ejemplo 3:

1 hora para alcanzar los	260°C	2 horas mantenidos a	760°C
1 hora para alcanzar los	760°C	1 hora para descender a	593°C

Las variaciones existentes entre los diferentes ejemplos que se acaban de citar no son muy importantes; todos trabajan bien y son escogidos de acuerdo a las preferencias de cada fabricante.

La reducción de calor que se observa en los tres ejemplos, es necesaria porque un revestimiento excesivamente

caliente mantendrá el metal fundido, en estado líquido, durante demasiado tiempo antes de solidificar, ocasionando un elevado índice de contracción y de porosidad.

En el caso contrario, un revestimiento excesivamente frío, enfriará el metal fundido haciendo que solidifique antes de tiempo y que no llegue a llenar totalmente el molde.

## 5. FUNDICIÓN

Una vez concluido el quemado, los moldes deben permanecer en el horno caliente a una temperatura controlada, hasta el momento que puedan ser transferidos a la máquina de fundir.

La colocación del cilindro y la fundición del metal puede ser llevada a cabo por una sola persona, o con la ayuda de un asistente. Si se dispone de un ayudante, él o ella saca el cilindro del horno de quemado, utilizando guantes de amianto, mientras la otra persona prepara el metal fundido.

El cilindro se coloca horizontalmente en el brazo de la centrífuga, con la parte posterior contra la placa de apoyo, asegurándose de que la entrada de bebedero y la salida del crisol queden convenientemente alineados. El crisol y su soporte se empujan con las tenazas de modo que la placa de separación presione contra el cilindro.

Si la colocación del cilindro y la fusión del metal deben ser llevados a cabo por una sola persona, primero se coloca el cilindro y se sigue con la fundición y colada del

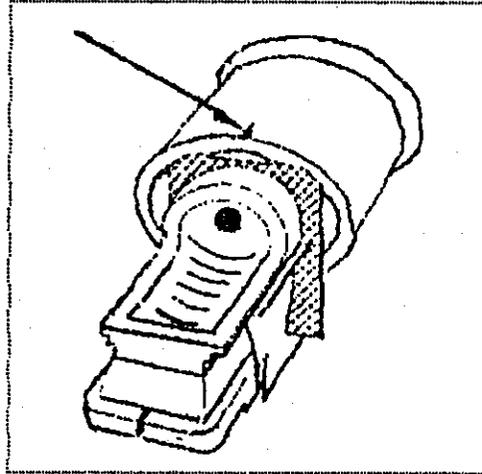
metal. Una vez se ha sacado el cilindro del horno, la fundición debe completarse cuanto antes.

La verdadera temperatura interior de un cilindro desciende a una media comprendida entre 5 y 10°C cada 4 minutos, porque el revestimiento caliente es mal conductor del calor. Estos moldes, si se dejan enfriar antes de que el metal sea inyectado en los mismos, acumularán cierta cantidad de humedad, que más tarde, propiciará la aparición de poros en la superficie de las piezas fundidas.

Al transferir el cilindro caliente del horno a la máquina de fundir, asegúrese de que la marca de identificación quede en la parte superior (Figura 19).

Con la abertura del bebedero encarada hacia abajo, el cilindro se golpea ligeramente para ayudar a expulsar cualquier residuo de ceniza que pueda quedar en la cavidad del molde. Se introduce en su alojamiento, en el brazo de la centrífuga, con la abertura de bebedero dirigida hacia el crisol.

Fig. 19 Posición de la marca del cilindro



Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida.  
P. 218

### 5.1 Crisoles

Los crisoles son recipientes que se utilizan para contener los metales a fundir, preparar aleaciones o calcinar otros materiales.

Se fabrican con sustancias altamente refractarias que pueden resistir elevadas temperaturas, y que según los casos, pueden ser ácidas, neutras o alcalinas.

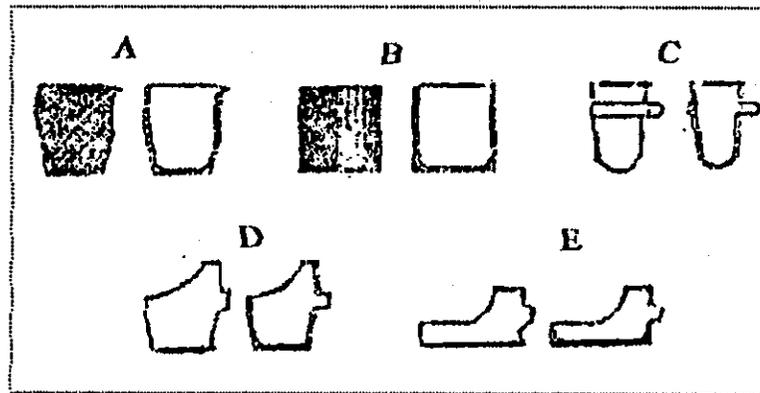
Entre los materiales ácidos cabe destacar el sílice y la arcilla; entre los neutros el carburo de silicio y el grafito; y entre alcalinos, la zirconia y la magnesita.

En ocasiones se emplea una mezcla de estos materiales, para obtener un crisol de características apropiadas para ser utilizado con un determinado metal o aleación.

En la figura 20 se muestra algunos crisoles de formas y materiales más utilizados:

- A) Crisol de grafito para uso general.
- B) Crisol de carburo de silicio.
- C) Crisol de cerámica
- D) Crisol para Ultra-Cast.
- G) Crisol para centrífugas mecánicas.

Fig. 20 Crisoles de diferentes formas y materiales



Fuente: Benavente, Jorge. Fundición a la cera perdida. P. 218

Por regla general, si estos materiales se utilizan

adecuadamente, no suelen agrietarse. La composición de materiales que integran el crisol no debe influir en las propiedades del material que se está fundiendo. Utilícense crisoles separados para oro, para plata y para otros metales.

Para la fundición centrífuga de piezas de joyería se recomiendan dos tipos de crisoles, los de grafito y los de carburo de silicio. Se prefieren porque no oxidan el metal fundido, son buenos conductores del calor y permiten bastantes fundidas. De los dos tipos citados, los de grafito son los más ampliamente utilizados. Resultan igualmente adecuados para pequeñas que para grandes producciones.

Los hay de muchos tamaños, desde los más pequeños que se utilizan para análisis, hasta los más grandes que pueden contener cientos de kilos de metal a fundir.

En lo que se refiere a su forma, la mayoría son cónicos, y algunos de ellos, disponen de un pico para facilitar la descarga de la colada.

Las formas de los crisoles utilizados para la fundición centrífuga pueden ser muy variadas y dependen mayormente de las características del equipo al que vayan destinados. Están

modelados para que se adapten a la base del crisol y a la pared de retención, y en la mayoría de casos, no pueden utilizarse con otras máquinas.

Algunos de ellos disponen de un fondo plano, que se adapta al alojamiento del brazo centrífugo, y un extremo de colada agujereado, plano, con un boquilla que coincide con la entrada del bebedero del cilindro.

Antes de utilizar un crisol por primera vez, y con el fin de prolongar el período de utilización del mismo, se recubre su interior con una mezcla, a partes iguales, de bórax y ácido bórico. Seguidamente, se calienta despacio, hasta que el bórax y el ácido bórico se funde y quedan adheridos a las paredes interiores como si se tratara de un barniz. Esta capa protectora evita que pequeñas partículas de crisol puedan desprenderse y caigan dentro del metal fundido.

No todos los crisoles requieren una preparación como la que se acaba de citar pero, en ningún caso es recomendable que el primer calentamiento se lleve a cabo de forma violenta.

## 5.2 Temperaturas de fusión del oro

Al darse el caso de que no exista un método barato que sirva para determinar con rapidez cuál es la temperatura del metal fundido, el sistema utilizado para fabricar piezas de joyería en una máquina centrífuga es el siguiente:

El metal se inyecta en el momento en que, al fundir, adquiere la apariencia de un líquido claro que presenta una superficie parecida a la de un espejo.

En otras palabras, no debe permitirse que el metal, a causa de un sobrecalentamiento, absorba impurezas; debe inyectarse tan pronto como sea posible.

Seguidamente, se indican algunos puntos de fusión y de fluidez de aleaciones utilizadas en joyería, para la fundición centrífuga.

El intervalo de fusión de una aleación es la variación de temperatura existente, desde que el metal comienza a derretirse hasta que su estado es totalmente líquido.

Las temperaturas de colada se indican únicamente como

orientación.

	<u>Intervalo</u> <u>de fusión</u>	<u>Temperatura</u> <u>de colada</u>
Oro de 18 quilates	880 - 885 °C	980 °C
Oro de 14 quilates	905 - 920 °C	1,020 °C
Oro de 10 quilates	935 - 960 °C	1,020 °C
Plata esterlina	983 °C	995 °C

Llévese la temperatura ligeramente por encima del punto de fusión, sin dejar que el metal hierva. No debe prolongarse de forma excesiva el calentamiento porque los metales de la aleación con más bajo punto de fusión se evaporarán, cambiará la composición y se alterarán sus características.

También, si el metal se sobrecalienta y decanta a una temperatura innecesariamente alta, al solidificar, se contraerá más que si se decanta a una temperatura más baja.

### 5.3 Fundición directa y en horno

Algunos metales como el oro o la plata pueden fundirse:

- Directamente en el crisol de la centrífuga.

- En un horno de fundir, en un crisol de grafito o de silicona, y luego vaciarse en el crisol de la centrífuga para ser inyectado en el cilindro que contiene el revestimiento.

### 5.3.1 Fundición directa

Los metales pueden fundirse directamente en el crisol de la centrífuga, simplemente introduciendo la cantidad de metal necesaria y añadiendo un poco de ácido bórico para evitar la oxidación. Los artesanos que sólo funden de vez en cuando, emplean este sistema, utilizando un soplete de fundir.

El soplete utilizado debe ser capaz de producir y mantener una llama de las dimensiones y potencia necesarias para fundir el metal en el menor tiempo posible.

#### 5.3.1.1 Tipos de gas

Cualquiera que sea la fuente de calor elegida: acetileno, oxígeno/gas o aire/gas, el factor más importante para reducir al mínimo la porosidad en las piezas fundidas es que se utilice una llama reductora. Una mezcla de oxígeno/gas es lo mejor para fundir oro y plata.

### 5.3.1.2 Llama oxidante y reductora

La llama oxidante, proporciona una fundición tosca y porosa. Es de color azul claro y más ruidosa que una llama reductora.

Una forma de reducir el oxígeno en una fusión es agitar el metal fundido con un varilla de carbón.

Cuando se utiliza oxígeno/gas, o gas/aire comprimido, primero se prende el gas, y seguidamente, se añade aire u oxígeno, justo hasta que desaparece el color amarillo de la llama.

Se emplea una llama reductora para mantener la aportación de oxígeno al mínimo y evitar la formación de óxidos que reduciría la fluidez del metal. Intente obtener una llama que retenga un tinte amarillento en la primera mitad. Con los sopletes de acetileno no siempre se puede controlar la mezcla de aire. Puede ser que la llama reductora no funda el metal tan rápidamente pero es mucho más segura.

Algunos artesanos y fabricantes utilizan sopletes de oxígeno/acetileno, que son capaces de proporcionar un calor

muy intenso.

Se recomienda utilizar una llama bastante neutra y calentar el metal tan rápidamente como sea posible, para evitar la oxidación.

### 5.3.2 Fundición en horno

El método recomendado para fundir oro o plata, si no se funde directamente en el crisol de la centrífuga, consiste en la utilización de un horno aparte. Si se dispone de gas, éste resulta preferible a la electricidad. Los hornos a gas son más baratos y más fáciles de manejar; por otro lado, también funden el metal más rápidamente.

Otra posibilidad es emplear un horno de fundir eléctrico, portátil, que también se utiliza para preparar aleaciones. Un modelo típico tiene casi 25 centímetros de alto por unos 20 centímetros de ancho, y pesa, aproximadamente, 3 kilogramos.

Se dispone de modelos equipados con pirómetro que pueden alcanzar rápidamente temperaturas de casi 1000°C, temperatura suficiente para fundir unos 750 gramos de oro o de plata en

12 minutos; 450 gramos en 10 minutos; y 150 gramos en 6 minutos.

Van equipados con crisoles de grafito de 114 milímetros de alto por 35 milímetros de diámetro que no precisan de ningún fundente. La atmósfera dentro del crisol es reductora. En el mismo horno pueden fundirse otros metales, pero en este caso, deberán utilizarse crisoles separados para cada metal.

#### 5.4 Enfriado del cilindro y eliminación del revestimiento

Con los guantes de amianto y las tenazas preparadas, se espera a que el brazo de la centrífuga deje de girar. El tiempo de rotación puede durar de 1 a 5 minutos, incluso 10, según el tamaño del cilindro utilizado.

Cuando la centrífuga deja de girar, se saca el cilindro de su alojamiento y se deja encima de un soporte de amianto, con el bebedero hacia arriba.

El tiempo necesario para que se enfríe el cilindro depende del tipo de metal fundido. Si se deja enfriar durante demasiado tiempo, se dificulta la extracción de las

piezas fundidas. Por el contrario, si se sumerge en agua demasiado pronto, puede ser causa de grietas o fragilidad en las piezas fundidas.

Para que el metal fundido cristalice adecuadamente y las piezas fundidas sean menos quebradizas y más fáciles de trabajar, el cilindro, después de la fundición, debe dejarse enfriar al aire según se indica a continuación:

- Oro de color: de 8 a 10 minutos.
- Oro blanco: 10 minutos.
- Plata: de 5 a 6 minutos.

Una vez transcurrido el tiempo indicado, el metal habrá perdido su color incandescente y el botón de la entrada del bebedero se verá negro.

Luego, se levanta el cilindro con las tenazas y se sumerge en un balde de agua suficiente para que lo cubra totalmente, y no salpique. El brusco cambio de temperatura durante la extinción provoca una reacción violenta en el revestimiento, que lo vuelve suave y granular, provocando su desintegración y que las piezas fundidas puedan separarse más fácilmente. También es posible golpear el cilindro con un

martillo, para ayudar a romper el revestimiento. Se utiliza un balde para que el revestimiento, al desintegrarse, quede recogido dentro del recipiente. Si se coloca el cilindro bajo un chorro de agua corriente, el revestimiento irá a parar al desagüe y posiblemente lo tapone.

La pistola de aire, para inyectar agua a presión, se recomienda a los fundidores comerciales para eliminar el revestimiento adherido a las piezas fundidas. Un chorro de vapor a presión, también puede ayudar a romper el yeso y a desprenderlo de todas partes de la pieza fundida.

Cuando las piezas fundidas salen del cilindro, gran parte del viejo revestimiento quemado queda en el balde, pero una cierta cantidad del mismo sigue adherido a las piezas fundidas, especialmente en las áreas con detalles complicados.

Las piezas fundidas se frotan con un pequeño cepillo duro, bajo un chorro de agua corriente, a fin de desprender las partículas residuales.

Para eliminar cualquier residuo de revestimiento que todavía permanezca adherido, también se utilizan rascadores,

cinceles y martillos de desincrustar. Las herramientas se utilizan suavemente, sin marcar ni rascar las superficies. Después de esto, por primera vez, se puede ver y examinar la fundición inyectada.

## CONCLUSIONES

1. Si el proceso de anillos mediante la técnica de fundición a la cera perdida se emplea adecuadamente, se reducen los costos de mano de obra, ya que pueden fundirse varias piezas al mismo tiempo de un modelo hecho a mano, o pueden producirse copias iguales al original que sólo necesitarán de un ligero repaso.
2. La principal limitación de la fundición centrífuga con revestimiento la determina el tamaño máximo de la pieza a fundir, en relación con el tamaño del cilindro. Sin embargo, esto puede superarse planeando modelos en varias partes que posteriormente pueden unirse por medio de soldaduras.
3. La elaboración del molde de caucho constituye la columna vertebral de cualquier fabricante de joyería, porque a través del mismo puede reproducirse miles de patrones de cera.
4. Si los bebederos presentan una sección excesivamente delgada no permitirán que el metal llene totalmente el

molde, y en consecuencia, el metal inyectado se dilatará con menos presión y se volverá poroso.

5. En el caso contrario, si el bebedero presenta una sección demasiado grande, al inyectar el metal fundido, puede ser causa de turbulencias que ocasionen porosidades.
6. El exceso de agua debilita la resistencia del yeso fraguado y puede causar el aparecimiento de marcas de agua en las piezas fundidas.
7. El proceso de inyección del oro se lleva a cabo de forma que el metal fundido se introduzca a presión en la cavidad dejada por la cera al derretirse. Debe prestarse especial atención a que, durante la solidificación, la pieza fundida disponga de suficiente material de reserva para que pueda quedar lo más compacta posible.
8. En Guatemala, la técnica de fundición a la cera perdida se está actualizando, por lo que este trabajo de tesis será de gran apoyo para aclarar las dudas y problemas que surjan durante el proceso de anillos.

## RECOMENDACIONES

1. Es conveniente, antes de inyectar un molde, limpiarlo con silicón, pasarle cepillo, espolvorear talco y volver a cepillar e inyectar por 2 ó 3 segundos.
2. No vale la pena utilizar un patrón de cera defectuoso teniendo en cuenta el tiempo y el material que se perderán posteriormente. Debe trabajarse únicamente con patrones de cera perfectos.
3. El procedimiento no conlleva ningún peligro que no pueda prevenirse convenientemente de forma sencilla, por eso deben elegirse ceras que al fundir o quemar, no desprendan vapores tóxicos.
4. La eliminación de la cera del cilindro sólo debe llevarse a cabo cuando pueda procederse inmediatamente después a inyectar el metal fundido en el molde.
5. El cilindro se saca del horno cuando todo está preparado para fundición, de lo contrario pueden haber partículas contaminantes que se introduzcan en el cilindro.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BENAVENTE, Jorge. *La fundición a la cera perdida*.  
Barcelona: Editorial Alsina. 1,995.
2. DUPONCHELLE, J. *Manual del fundidor de metales*.  
Barcelona: Gustavo Gili, S.A. 1,994.
3. ROSENTHAL JEWELERS SUPPLY. *Manual del joyero*.  
México: Rosenthal de México, S.A. 1,994.