

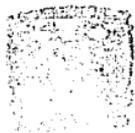
17
20j-



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

EVALUACION DE MATERIALES PARA LA
FUNDICION DE PRECISION

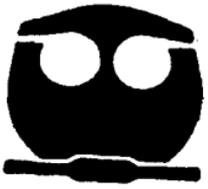


EXAMENES PREUNIVERSITARIOS
FACULTAD DE QUIMICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
P R E S E N T A I

JOSE GUADALUPE RAMIREZ VIEYRA



México, D. F.

1992

FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

SUMARIO

En el presente estudio se valoran seis diferentes formulaciones de ceras para la fabricación de modelos para la fundición, algunas retomadas de la literatura y otras propuestas por el sustentante, elaboradas a partir de dos ceras minerales, una vegetal, una animal y una resina natural, todas ellas de bajo costo y fácil consecución en el país.

Dichas formulaciones se evalúan por medio de la medición de propiedades tales como: punto de fusión, contenido de cenizas, fluidez, dureza y contracción durante la solidificación.

Asimismo, se reseña la elaboración de modelos de cera por medio de la utilización de moldes de hule de silicón y se valora la capacidad de cada formulación para reproducir las dimensiones y detalles de objetos originales.

Por otro lado, se describe someramente la historia y aplicación actual de las técnicas de fundición de precisión con modelos desechables (cera perdida y fundición con modelos evaporables).

INDICE.

I/ INTRODUCCION.	1
II/ BREVE RESEÑA HISTORICA.	4
A. El proceso de la cera perdida	4
B. La fundición con modelos evaporables	9
III/ PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.	12
A. Formulaciones	12
B. Determinación de la temperatura de fusión	13
C. Determinación del contenido de cenizas	14
D. Medición de la fluidez	14
E. Determinación de la dureza	16
F. Medición de la contracción durante la solidificación	17
G. Elaboración de modelos de cera	19
IV/ RESULTADOS.	21
A. Punto de fusión	21
B. Contenido de Cenizas.	23
C. Fluidez.	23
D. Dureza.	25
E. Contracción durante la solidificación.	26
F. Calidad de los modelos de cera.	27
V/ DISCUSION.	30
VI/ CONCLUSIONES.	33
VII/ RECOMENDACIONES.	34
VIII/ ANEXO A.	35
IX/ ANEXO B.	36
X/ BIBLIOGRAFIA	37

I / INTRODUCCION.

Si se considera que el principal propósito de la fundición es la producción de piezas metálicas de forma, dimensiones y acabados lo más cercanamente posibles a sus características finales, entonces, el éxito de un proceso de este tipo debe medirse, en gran parte, en base a tal criterio [1].

Sin embargo, la gran mayoría de las piezas fundidas no se fabrican con toda la precisión a la que técnicamente se tiene acceso. La tendencia de la industria de la fundición ha sido la producción de piezas suficientemente funcionales pero con dimensiones y acabados superficiales dentro de especificaciones sólo alcanzados mediante maquinado local o general [16].

Las fundiciones hechas en arena están sujetas a errores dimensionales apreciables debido a varias razones. Generalmente la producción de moldes se realiza a partir de modelos de madera de bajo costo, de diversa procedencia, almacenados durante largo tiempo y con varios grados de deterioro debido a su uso [1].

Por otro lado, la exactitud con que el molde reproduce la forma del modelo está sujeta a circunstancias tales como la deformación del primero debido a hundimientos o a golpes del mismo modelo o bien, a un ajuste inexacto de las partes que lo conforman.

En adición a lo anterior, el molde debe tener suficiente estabilidad dimensional durante la colada.

En el caso de piezas que requieren corazón, las fuentes de error son las posibles fallas en los sistemas de posicionamiento.

Además, el acabado superficial obtenido dista de ser terso.

Todo esto tiene una repercusión en el aspecto económico del proceso de fundición.

En el caso de diseños complejos o de metales demasiado duros para el maquinado o muy frágiles para la forja, la fundición de precisión puede elaborar piezas con dimensiones y acabados tales que prácticamente no se necesitan operaciones secundarias, gracias, por una parte, al uso de modelos que reproducen exactamente la pieza a elaborar y, por la otra, a la

utilización de técnicas y de materiales de moldeo diseñados para proporcionar una superficie tersa [1,14,16].

Los moldes se producen a partir de materiales refractarios que contienen partículas muy pequeñas, con lo que se obtiene una textura superficial fina que se transmite, a su vez, a las piezas metálicas.

Además, las condiciones en que se lleva a cabo la colada aseguran que el metal líquido llene total y exactamente la cavidad del molde. Esto se logra, principalmente, gracias a la gran permeabilidad del molde a los gases, en algunos casos y a su precalentamiento, en otros [1].

Aunque muchos autores consideran sólo al proceso de la cera perdida, con sus variantes, como fundición de precisión, estimamos que una clasificación más correcta debe basarse, en primer término, en la capacidad que tenga el proceso para producir moldes dimensionalmente exactos y que reproduzcan la textura superficial del modelo utilizado.

Así, dentro de la fundición de precisión, deben incluirse los procesos Croning (shell moulding), fundición con recubrimientos (investment casting) y fundición en moldes permanentes (die casting), con sus respectivas variantes.

Los procesos de fundición con recubrimientos se caracterizan por producir moldes a partir de recubrimientos refractarios líquidos y pueden dividirse en dos categorías: aquellos que usan modelos desechables y producen moldes de una sola pieza, sin juntas y los que utilizan modelos permanentes para la fabricación de moldes compuestos [1,16].

A pesar de que algunas técnicas de la fundición de precisión tienen más de 5000 años de existencia y de las ventajas tanto técnicas como económicas que representan, tales como la factibilidad de diseños complejos y la disminución de costos por reducción o eliminación del maquinado, su penetración en la industria de la fundición no ha comenzado sino en épocas recientes. Esto se debe a razones tanto económicas como extraeconómicas [4].

Dicha industria es, en general, muy conservadora en cuanto a cambios se refiere. Además no existe un método fácil y de bajo costo para la experimentación, hay un desconocimiento entre la industria de la fundición y las industrias relacionadas (como la de los plásticos), en cuanto a sus productos y procesos y, finalmente, el problema de las patentes y de los secretos industriales hacen difícil la difusión de la fundición de precisión.

Por otro lado, entre las desventajas que este tipo de procesos presentan se tiene que: no se prestan a la mecanización tan fácilmente como otros procesos, por lo que su volumen de producción es relativamente bajo; en el caso de la fundición con recubrimientos, se requiere un modelo por cada pieza metálica que se quiera fabricar y es necesario un gran número de operaciones para llegar a la pieza metálica, todo lo cual aumenta los costos de producción [2].

En el presente trabajo se aborda el proceso de fundición con recubrimientos, desde la óptica de la caracterización de ceras, tratando de encontrar, de entre las formulaciones evaluadas, la que mejores propiedades presente para la elaboración de modelos.

II /BREVE RESEÑA HISTORICA.

A. El proceso de la cera perdida.

Algunas de las técnicas más antiguas que han sido utilizadas por la humanidad para elaborar piezas metálicas corresponden a la fundición de precisión. Tal es el caso del proceso de la cera perdida, cuyos orígenes son ubicados, generalmente, en la Edad de Bronce [2,3,4,5], aunque es muy probable que ya desde la época en que se fabricaban piezas fundidas a partir de metales nativos (4500 a.c.) [6,7] se utilizara dicha técnica. Ha sido descubierta estatuaría y joyería, elaborada por dicho método, que data de 4000 a.c., mientras que los artesanos de las primeras dinastías egipcias (antes de 2780 a.c.) y de la dinastía china Shang (1766-1122 a.c.) utilizaban esta técnica para producir objetos artísticos y delicada falsa filigrana en bronce [2,3,4,5].

El proceso también fue desarrollado por algunos pueblos amerindios en el sur del continente, como los Quimbaya y los Incas (1500 a.c.) [8,9] asentados, respectivamente, en lo que ahora es Colombia y Perú, Bolivia, Ecuador y el norte de Chile.

Algunos investigadores sugieren que la técnica fué traída de la zona andina a mesoamérica a través de la vía marítima y desde la actual Colombia por la vía terrestre a través de Centroamérica [8,9,10]. Así, encontramos objetos elaborados por el método de la cera perdida entre las culturas Mexica, Purépecha y Mixteca (800-900) [3,4,5,9].

Al respecto, se menciona que la mayor parte de las piezas arqueológicas metálicas conocidas en la actualidad fueron producidas por medio de esta técnica [11].

Fray Bernardino de Sahagún describe, de manera más o menos detallada, cómo los artesanos mexicas producían piezas de oro por el método de la cera perdida [12].

La técnica utilizada por los artesanos mesoamericanos consistía, a grandes rasgos, en preparar una pieza con una mezcla de carbón vegetal finamente molido con arcilla, similar a la que se quería vaciar. Esta pieza, que funcionaba como núcleo, se recubría con una capa de cera de abeja, previamente purificada (por filtración), clarificada (por exposición a la luz solar) y mezclada con copal blanco. La cera se modelaba para obtener el

diseño deseado, agregando los detalles por medio de pastillaje, alambres o bandas de cera. Al modelo así preparado se le adherían pequeñas barras de cera para eliminar, posteriormente, el aire atrapado y una barra grande para colar el metal fundido. Cuando la pieza lo ameritaba, se colocaban pequeños palillos de madera para sujetar el núcleo y mantenerlo en su lugar. Luego, para obtener una superficie tersa, la cera se recubría con una suspensión acuosa de carbón molido. Al secarse este recubrimiento se le aplicaba barro, formando una abertura cónica para el vaciado del metal. Una vez que este molde se secaba, se calentaba para extraer la cera y se agregaba el metal fundido. Cuando se enfriaba el conjunto se eliminaba el molde de barro y se cortaban las barras de metal que quedaban en el embudo y los respiraderos, puliéndose la pieza para disimular su existencia [9,11,12].

En Europa, durante el renacimiento, Benvenuto Cellini, escultor y fundidor, utilizaba la técnica, aprendida de una descripción que el monje Teófilo Presbítero (c.1100) había hecho en su obra "Schedula Diversarum Artium", mientras que en 1538 Vannoccio Biringuccio, fundidor oficial del Papa, escribía en su obra "Pirotechnia": "...también hay moldes para estatuas grandes que, si uno desea hacerlas en bronce, primero se hacen de cera.." [3,13].

Siglos más tarde, a finales del XIX y principios de éste, algunos dentistas en Estados Unidos, como B.F. Philbrook (1897), comenzaron a utilizar la técnica de la cera perdida para elaborar incrustaciones, coronas y puentes para cada caso clínico en particular. Más aún, en 1932 fue desarrollada una aleación cobalto-cromo conocida como "vitallium", para ser utilizada con este fin y para implantes quirúrgicos [3,4,5,13].

Los joyeros también comenzaron a usar el método, primero con piezas individuales y luego produciéndolas en masa, al hacer moldes para producir modelos de un mismo diseño [4].

En los años 30's, la técnica era reconocida como útil, pero muy especializada y sin mucho porvenir. El uso industrial del proceso de la cera perdida comenzó, en realidad, durante la Segunda Guerra Mundial, cuando surgió la demanda inmediata y en gran escala de piezas de precisión para armas más sofisticadas y para aviones cada vez más grandes, potentes y capaces de volar a mayor altitud como los bombarderos y los de combate [2,3,4,5].

Luego de la guerra, el desarrollo de esta técnica siguió ligado a las industrias aérea y militar. Poco a poco, sin embargo, se fueron encontrando nuevas aplicaciones para esta, utilizándose una cada vez mayor gama de

aleaciones, entre las que se encuentran, además de los metales preciosos, el acero, el hierro dúctil, los aceros inoxidables, aleaciones de aluminio, de magnesio, bronce y latones [1].

En cuanto a los materiales utilizados en el proceso se puede decir que durante los últimos años han tenido un desarrollo considerable

En un principio las ceras utilizadas en la fabricación de modelos eran ceras naturales animales, como la de abeja, vegetales, como la candelilla o la carnauba, puras, mezcladas entre sí o mezcladas con resinas naturales, como el copal. Luego se añadió a la lista la parafina, obtenida de la refinación del petróleo. Por el contrario, las formulaciones usadas hoy en día, generalmente guardadas en secreto por los fabricantes, consisten en mezclas complejas de ceras, naturales o sintéticas (como las ceras microcristalinas), con resinas sintéticas y polímeros, que permiten tener un control más estricto sobre propiedades tales como la viscosidad, la plasticidad, la resistencia a la tracción, la expansión térmica, la contracción y la estabilidad dimensional [1].

Por otro lado, los materiales tradicionales para la elaboración de moldes consistían en barro, carbón vegetal molido, además del yeso, mezclados con la porción adecuada de agua [9,12,13]. Actualmente los moldes se contruyen a partir de suspensiones de granos refractarios en algún medio adecuado, adicionado con algún aglutinante, que además de evitar que el molde reaccione con el metal, le dan al primero una mayor resistencia sin hacer que pierda su permeabilidad [1].

Para metales y aleaciones con bajo punto de fusión se usa generalmente yeso de paris como agente aglutinante, mezclado con un refractario fino, como harina sílica, suspendidos en agua. Para aleaciones con alto punto de fusión, como el acero y las aleaciones base níquel y base cromo, se utiliza un etilsilicato para producir enlaces de silicio permanentes por medio de la formación de un gel de sílice en una solución hidrolizada del éster [1].

Otros aglutinantes de uso común son: soluciones acuosas de sílice coloidal; silicato de sodio, cemento portland y fosfato dihidrogenado de amonio [1].

En los últimos años, la automatización ha irrumpido en la industria de la fundición de precisión. La introducción de robots tanto en la sección de moldeo como en la producción de modelos, ha incrementado considerablemente la capacidad del proceso, dándole repetibilidad y

consistencia y permitiendo, además, que se puedan elaborar piezas cada vez más grandes y pesadas [5,15,16.]

Aunque el proceso básico utilizado hoy en día es muy similar a los descritos anteriormente, existen dos variantes de la técnica: la de molde completo (full mould) y la de recubrimiento cerámico (ceramic shell).

Ambas variantes comienzan con la elaboración de modelos desechables de cera utilizando para ello moldes de hule sintético, resinas epóxicas o aleaciones de bajo punto de fusión en el caso de baja producción, o aluminio, aleaciones de cobre o aún acero, en caso de grandes producciones [1,4].

Luego, varios modelos se ensamblan en un "árbol" del mismo material, que constituye, en realidad, un sistema de colada, usando una espátula caliente o un cautín [1].

El árbol se sumerge en una suspensión de partículas cerámicas finas (<200 mallas) con algún aglutinante, para dar un acabado terso a la pieza y poder utilizar un material más barato en el resto del molde.

Esta capa primaria, que en ciertas ocasiones se utiliza como medio para la introducción de inoculantes con el fin de obtener una microestructura más fina y reproducible, se deja secar antes de la aplicación del recubrimiento principal [1,4].

En la variante de molde completo, éste se forma vaciando el recubrimiento principal en un recipiente que contiene el árbol, colocado en posición invertida. Luego el conjunto se vibra para acelerar el asentamiento de sólidos y eliminar las burbujas de aire. Algunas veces se aplica vacío, sobre todo para la deaeración de recubrimientos a base de partículas finas de yeso [1,2]. Los moldes se dejan reposar de 12 a 24 hrs. antes de eliminar el modelo.

En años recientes, el uso de la variante de recubrimiento cerámico se ha incrementado considerablemente debido a que se utiliza sólo una fracción de los materiales que se usan en la elaboración de un molde completo.

Para esta variante se utilizan recubrimientos similares a los usados para el molde completo, pero se suprimen las partículas más grandes. Antes de que se endurezca la capa de recubrimiento se aplican partículas más o menos grandes de estuco (>100 mallas) espolvoreandolas sobre el modelo o bien por medio de un lecho fluidizado. Esta operación se repite dejando

secar cada capa al menos 2 horas, aunque el proceso se puede acelerar químicamente o por medio de corrientes de aire. El espesor total del recubrimiento es de aproximadamente 5 mm. El molde se deja secar de 20 a 150 minutos antes de eliminar el modelo [1,2,4].

La siguiente etapa para ambas variantes es la eliminación del modelo y la consolidación del molde por evaporación de los constituyentes volátiles.

El método más generalizado para la eliminación del modelo, cuando se construye un molde completo, consiste en calentar el conjunto a una temperatura ligeramente superior al punto de fusión de la cera, permitiéndole a ésta la salida del molde [1].

Posteriormente, el molde se quema calentándolo de 40 a 70°C/hr hasta 650°C para aleaciones de aluminio, hasta 870°C para latones y hasta 1000°C para aleaciones ferrosas. Con esto se logra su total deshidratación y el completo desarrollo de su resistencia, además de eliminar los restos de cera que pudieran haber quedado en su interior y precalentarlo para la colada [1,2].

Para la variante de recubrimiento cerámico la resistencia del molde es menor a la del molde completo, debido a su relativo poco espesor. Si la cera se calienta a bajas temperaturas, la expansión de ésta es grande (ver fig. 1) y antes de llegar a fundirse puede romper el molde. Para evitar esto se utiliza una técnica denominada "descerado instantáneo" (flash dewaxing), en la cual la temperatura se eleva rápidamente hasta aproximadamente 1000°C colocando el molde frío directamente en el horno. De esta manera se crea un pronunciado gradiente de temperatura que produce una fusión superficial en la cera antes de que el grueso de ésta sufra una expansión apreciable.

Así, la eliminación del modelo y quema del molde se realizan en una sola operación en alrededor de 2 horas [1,4].

Otra técnica utilizada para eliminar el modelo en moldes de recubrimiento cerámico es el tratamiento con vapor a presión, en una autoclave. Con esto, la cera puede eliminarse a menor temperatura y la presión ayuda a mantener intacto el recubrimiento. Por este método se recupera casi toda la cera, mientras que utilizando la técnica descrita anteriormente (flash dewaxing) se quema una fracción de ésta [4].

Existen otras técnicas para la eliminación del modelo, tales como la utilización de sustancias como el tricloroetileno para disolver la cera sin calentamiento, aunque, en realidad son muy poco utilizadas (11,4).

Luego de la quema, el molde está listo para la colada del metal, que puede llevarse a cabo por gravedad, al vacío, a presión o por fuerza centrífuga.

Una vez enfriada la fundición, el molde se remueve por vibración o con agua a presión. Los residuos se eliminan por lixiviación en un baño de sales caústicas, las piezas se separan del sistema de colada y se envían a operaciones secundarias cuando así se requiere (4).

B. La fundición con modelos evaporables.

En 1958, M.F. Shroyer patentó en Estados Unidos una técnica denominada "Cavittless Moulding Process", con el tiempo conocida como Fundición con modelos evaporables y que encontró su primer uso comercial en Alemania en 1962. Esta técnica consistía en construir un molde de arena convencional o una mezcla de arena con resinas, alrededor de modelos tallados en bloques de poliestireno expandido, adicionando gran cantidad de vientos para eliminar los gases generados durante la colada (17,18).

En un principio, este proceso se limitó a piezas individuales, como partes para maquinaria, moldes (dados) y objetos de arte.

T.R. Smith descubrió, en 1961, que las arenas sin aglutinantes podían servir como moldes en este proceso tan bien como las arenas aglutinadas, mientras que en 1964, Butler y Pope enunciaron las ventajas de compactar la arena sin aglutinante por vibración para producir piezas con una mayor precisión dimensional.

Sin embargo, fue hasta los años 70's que se incrementó la investigación en este campo, orientada a alcanzar la producción en masa para la industria automotriz, en donde tiene su mayor aplicación (18).

El proceso de fundición comienza con la fabricación de modelos que son una réplica exacta de la pieza a producir, a partir de pequeñas cuentas de poliestireno, de 1.981 a 0.381 mm (de 35 a 50 mallas) de diámetro, cuya designación en la nomenclatura comercial es de tamaño "T". Las cuentas se preexpanden por medio de vacío y calor hasta obtener una densidad de 16 a

27 kg/m³ y se dejan estabilizar por 24 hrs., ya que el agente expansivo continúa actuando por algún tiempo [19].

Luego se realiza la expansión en moldes de aluminio o cobre fojado o maquinado, por medio de calentamiento con vapor a 40 psig hasta tener una densidad de 8 a 16 kg/m³ [19,20,21].

Nuevamente es necesario dejar envejecer los modelos, ya que éstos presentan una contracción que ocurre en un período de 30 días. La mayor parte de dicha contracción ocurre, sin embargo, en los primeros 7 días [17,19].

Si es necesario elaborar el modelo en partes debido a su complejidad o bien al ensamblar un "árbol" con varios modelos, pueden usarse pegamentos tales como latex o solventes adecuados para el poliestireno. En cualquier caso se debe tener en cuenta que el pegamento elegido sea compatible con el poliestireno y fácil de aplicar, no produzca cenizas, se evapore a la misma velocidad que el poliestireno, fragüe rápidamente y desarrolle una resistencia adecuada [19].

La principal característica de la arena utilizada es la permeabilidad de ésta a los gases generados durante la colada, aunque no se deben descuidar aspectos como la fluldez, la distribución de tamaño, los residuos de poliestireno o su temperatura, que no deberá exceder los 70°C debido a la expansión súbita que sufre el poliestireno en esa región (ver fig. 1).

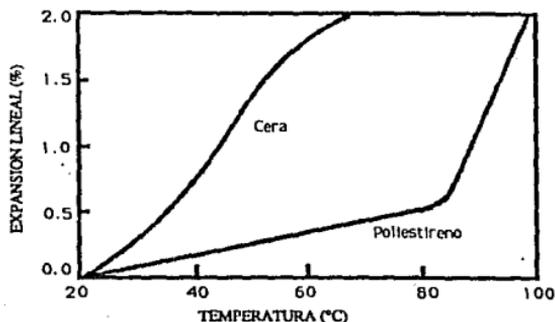


Figura 1. Curvas típicas de expansión térmica para cera y poliestireno [1]

Debido a que no contiene aglutinantes, la arena, luego de cernirse, clasificarse y enfriarse, puede ser reutilizada (22).

En la actualidad existen algunas variantes del proceso básico con utilidad comercial. En algunas de estas variantes, usadas para producir piezas de aleaciones ligeras, un modelo de poliestireno de baja densidad (~ 25g/l) se recubre con una ligera capa de una suspensión de sílice en agua con un aglutinante adecuado (por ejemplo yeso de paris), para evitar que el metal fundido penetre en la arena. Una vez seco dicho recubrimiento, el modelo se deposita en un recipiente con arena suelta y se vibra en 1, 2 o los 3 ejes para que llene todos los huecos cercanos al modelo. Al colar el metal, éste evapora el modelo (simplicast F.M) (22,23).

Para aleaciones con puntos de fusión altos, como bronce, fierros, etc..., se usa una variante en la cual, con el objeto de evitar que la reacción entre el modelo y el metal pueda dañar el molde, se aspiran los gases generados desde el fondo del mismo (repliat F.M.) (23).

Otras variantes fueron creadas para aleaciones en que, como en el hierro dúctil, no se puede permitir que el carbono proveniente de la descomposición del poliestireno se introduzca en el metal haciendo variar su composición o cree defectos tanto superficiales como ocultos. Para tales casos se sigue un procedimiento muy similar al proceso de cera perdida. El modelo de poliestireno se fabrica con una alta densidad (~50 g/l), se recubre con la suspensión de refractario adecuada hasta obtener un espesor de 3 a 8 mm y se seca el recubrimiento por abajo de 70°C para evitar la fractura del molde asociada a la súbita expansión del poliestireno encontrada alrededor de los 82°C (ver fig. 1). El molde se quema a 1000°C y luego se coloca en un recipiente con arena seca, vibrando el conjunto para, posteriormente, colar el metal (replicast C.S) (18,23).

Otra posible solución a este problema lo constituye la sustitución del poliestireno por otro plástico tal como el polimetilmetacrilato, cuyo contenido de carbono es mucho menor (24).

Una vez fría la fundición, se elimina el molde por vibración, se separan las piezas individuales y, si así lo ameritan, se mandan a operaciones secundarias.

III/PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

A.- Formulaciones.

En base a observaciones preliminares y a información encontrada en la literatura [25], se eligieron seis formulaciones de ceras para la fabricación de modelos para ser evaluados, preparándose, aproximadamente, 500 grs. de cada una de ellas.

Todas las ceras utilizadas en su elaboración, con excepción de la cera de abeja, de procedencia artesanal, fueron compradas en una tienda especializada en ceras para elaboración de velas artísticas.

Las formulaciones elegidas fueron:

1.-Parafina (P).

Esta cera se escogió por su fácil consecución, su aparente bajo punto de fusión y su gran fluidez en estado líquido, además de ser mencionada como base para la mayoría de las formulaciones usadas hoy en día [25].

2.- Mezcla 80% cera de candelilla -20% parafina (CP).

Se optó por esta mezcla debido a la dureza y textura que le confiere la cera de candelilla.

3.- Mezcla 33.3% parafina, 33.3% Cera de candelilla, 33.3% Cera de abeja (CAP).

Esta mezcla fue elegida por la flexibilidad que la cera de abeja le proporciona a la mezcla cera de candelilla-parafina.

4.- Cera de abeja (A).

La cera de abeja se escogió para tener un punto de comparación entre ésta y las mezclas que la contienen.

5.- Mezcla 85% copal blanco -15% cera de abeja (CoA).

Sahagún menciona que los antiguos artesanos prehispánicos utilizaban cera mezclada con copal blanco para la elaboración de modelos [12]. Se

decidió elegir una composición en particular, para lo cual se realizó un análisis térmico mediante calorimetría diferencial de barrido, encontrándose que la composición escogida presenta el punto de fusión más bajo del sistema cera de abeja-copal.

6.-Cera microcristalina (M).

Se optó por esta cera por ser mencionada en la literatura como base de gran parte de las formulaciones empleadas en la elaboración de modelos [25].

B.- Determinación de la temperatura de fusión.

Conocer exactamente la temperatura a la cual la cera debe vaciarse o inyectarse es de suma importancia para la correcta elaboración de los modelos.

Para determinar la temperatura de fusión de cada una de las formulaciones, con excepción de la N° 5 (CoA), se utilizó una técnica similar a la propuesta en la literatura [26].*

Se fundieron en un recipiente de vidrio calentado a baño maría, para evitar su degradación, aproximadamente 200 g. de cada formulación, colocando en el seno del fundido un termopar tipo K, (cromel-alumel), conectado a un registrador electrónico marca "Omega"; se les dió un sobrecalentamiento de aproximadamente 10°C por arriba de la temperatura a la que fundieron totalmente y se les dejó enfriar al aire, tomando la lectura de temperatura cada 15 segundos.

En el caso de la formulación N° 5 (CoA) la meseta característica en la curva de enfriamiento correspondiente no se presentó, por lo que la determinación de la temperatura de fusión se llevó a cabo por calorimetría diferencial de barrido, utilizando la celda correspondiente, en un aparato Thermal Analyst 2000, de Du Pont Instruments. La velocidad de calentamiento fué de 20° C/min., hasta alcanzar 100°C.

* Aunque en sentido estricto al usar esta técnica se determina el punto de solidificación de la cera y no su punto de fusión, ya que se basa en un proceso de enfriamiento, se decidió utilizar el segundo término (punto de fusión) sólo para conservar la nomenclatura usada en la norma consultada.

C.- Determinación del contenido de cenizas.

El contenido de cenizas de una cera representa la proporción de sólidos no combustibles que quedarán en contacto con el metal fundido durante la colada.

La determinación del contenido de cenizas de cada formulación se llevó a cabo de acuerdo a la norma propuesta en la literatura [27].

En una mufla se deshidrataron 6 pequeños crisoles de porcelana a 775°C por 15 min.

Luego de enfriarlos a temperatura ambiente en un desecador sin agente deshidratante, se pesaron hasta décimas de miligramo.

Por otra parte se pesaron, aproximadamente, 2,0 grs. de cada una de las formulaciones y se introdujeron en el crisol correspondiente.

Cada crisol se calentó al mechero con el fin de quemar la muestra, haciendo que ardiera a velocidad uniforme y moderada, desprendiendo gran cantidad de humo, hasta que solo quedaron residuos carbonosos.

Los residuos se calentaron en una mufla a 775°C por 15 minutos, dejando enfriar luego hasta temperatura ambiente en un desecador.

Luego de pesar los crisoles, nuevamente se calentaron hasta 775°C por 15 min. y se enfriaron a temperatura ambiente para ser pesados.

Si la diferencia de pesos fue igual o menor a 0,5 mg, se procedió a calcular el contenido de cenizas de la formulación correspondiente.

En caso contrario, se repitió la secuencia de calcinación, enfriamiento y pesada, hasta que la condición mencionada se cumplió.

D.-Medición de la fluidez

Aunque en la literatura se reporta más comúnmente la viscosidad de las ceras, se prefirió usar una prueba de fluidez por considerarla más cercana a las condiciones de colada o inyección de estos materiales.

Para evaluar esta propiedad se decidió utilizar la prueba de tiras usada para medir la fluidez de metales fundidos, descrita en la fig. 2.

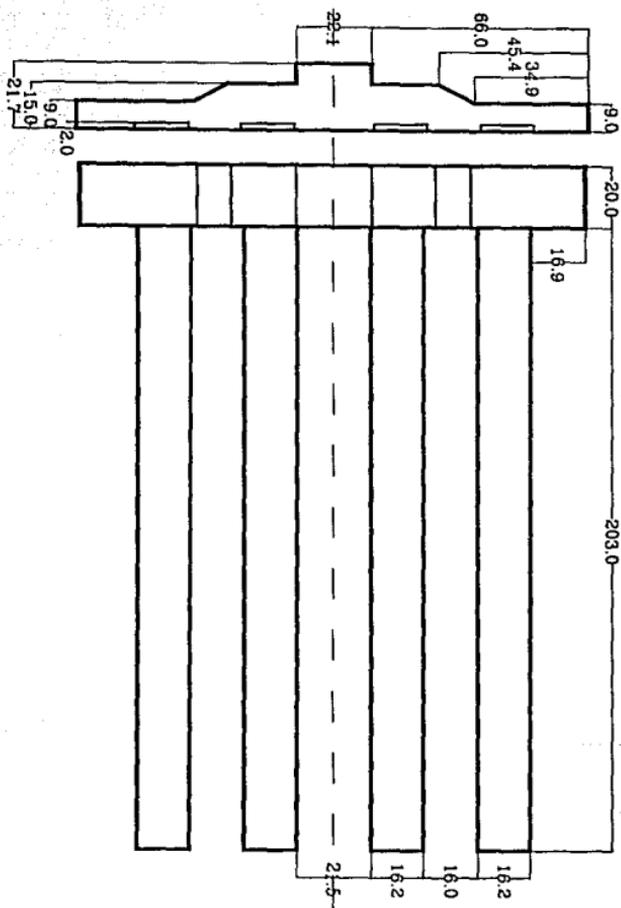


Figura 2. Modelo de tiras para pruebas de fluidez.

Como primer paso se fabricó un molde de hule de silicón con refuerzo de yeso (fig. 3) a partir de un molde de tiras de madera (ver anexo A)

Luego se fundieron las formulaciones a baño maria, sobrecalentandolas aproximadamente un 30% de su temperatura de fusión, para colar los modelos de tiras, que al solidificar y enfriarse sirvieron para calcular el índice de fluidez de cada formulación

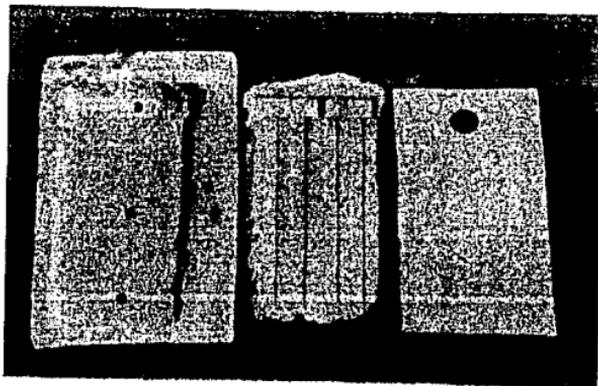


Figura 3. Molde de Hule de Silicon para pruebas de fluidez

E - Determinación de la dureza

Una dureza apropiada de las ceras es importante ya que le confiere a los modelos la combinación de resistencia y elasticidad necesaria para evitar que se rompan o pandeen durante la posterior construcción de los moldes refractarios

Para evaluar esta propiedad se utilizaron técnicas similares a las descritas en la literatura sobre el tema [28,29].

Se fabricó un prisma rectangular de $35.0 \times 20.0 \times 9.0$ mm. de cada una de las formulaciones evaluadas para someterlo a pruebas de dureza de acuerdo a la escala Shore A, utilizando para ello un durometro marca Gnehm-Morgen; la temperatura de prueba fue de 20°C , aplicandose una carga de 100.0 g. durante 5 seg. El total de lecturas por probeta fue de 7.

F.- Medición de la contracción durante la solidificación

Cuantificar la contracción que sufre una determinada formulación es de gran importancia en la producción de modelos dimensionales confiables.

No existe una tecnica estandarizada para la medición de esta propiedad, por lo que se decidió utilizar un metodo propuesto en la literatura [25].

Para ello se fabricó por maquinado, a partir de un trozo de barra, un molde de aluminio (fig.4), cuyas dimensiones se especifican en la fig. 5.



Figura 4 Molde de Tatur utilizado en las pruebas de contracción.

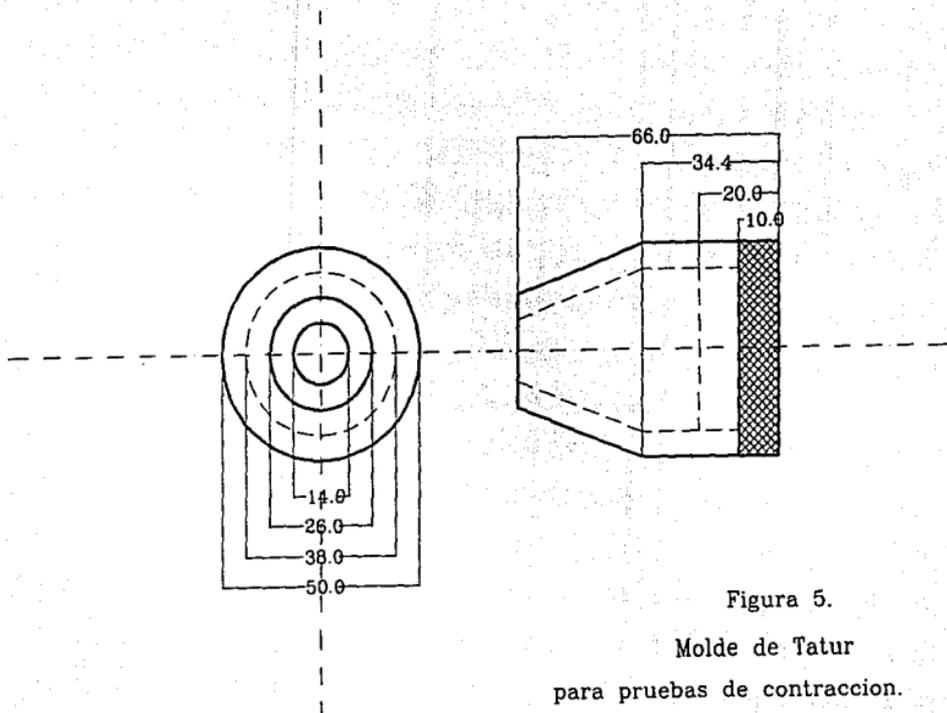


Figura 5.
 Molde de Tatur
 para pruebas de contraccion.

(ecol. mm.)

Primeramente, se midió el volumen interior de dicho molde, llenándolo con agua destilada por medio de una bureta.

Luego se fundió una cantidad suficiente de cada formulacion. se sobrecalentó un 30% de su temperatura de fusión respectiva, se vertió en el molde hasta llenarlo y se dejó solidificar y enfriar al aire hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Posteriormente, con ayuda de una bureta de 10 ml. de capacidad, el vacío formado por la contracción de la cera se llenó con agua, midiendo el volumen empleado en cada caso.

Todas las mediciones de volumen se realizaron con agua destilada a 18°C.

Para comprobar que las ceras se contrajeron sólo en la porción central de cada pieza (pipíng), éstas se cortaron longitudinalmente para su inspección visual.

G.- Elaboración de modelos de cera

El primer paso en la elaboración de los modelos de cera fue la construcción de moldes de hule de silicón para reproducir dos objetos originales: un pequeño busto tallado en ébano y una concha de caracol marino (fig. 6). El procedimiento empleado se describe en el anexo B.

Luego se colaron los modelos con cada una de las formulaciones a evaluar

Para ésto se fundió cada cera a baño maría, se sobrecalentó aproximadamente un 30% de su temperatura de fusión y se vació directamente en el molde, sin la adición de ningún desmoldante.

Las formulaciones Nos 1 (P), 2 (CP) y 3 (CAP) se utilizaron para reproducir la talla en ébano (pieza A), mientras que las ceras Nos. 4 (A), 5 (CoA) y 6 (M) se usaron para colar modelos de la concha de caracol (pieza B).

Una vez solidificados y frios los modelos, se inspeccionaron visualmente y se midieron algunas dimensiones representativas de éstos para compararlos con el objeto original. En el caso de la talla en madera se midieron al ancho de la base, y la distancia entre la base y la parte más alta de la cabeza

Para la concreta de caracol se eligieron la longitud total y el espesor del ala

Todas las medidas se tomaron por triplicado

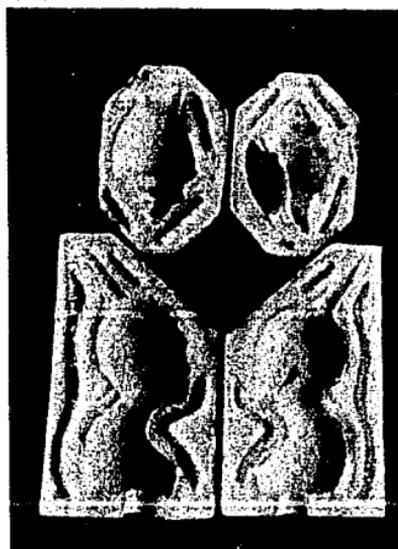


Figura 6. Moldees de hule de silicon para elaborar los modelos de cera

IV/ RESULTADOS.

A.- Punto de fusión.

De acuerdo a la técnica propuesta en la literatura [26], se tomaron las lecturas de temperatura cada 15 segundos, correspondiendo las primeras cinco lecturas consecutivas iguales a la temperatura o punto de fusión de la formulación respectiva

Las curvas de enfriamiento generadas se muestran en la fig. 7, donde claramente se observan las mesetas producidas por el paso de cada cera del estado líquido al sólido.

En el caso de la formulación No. 5 (CoA), la determinación de la temperatura de fusión se hizo a partir de la curva de flujo de calor v.s. temperatura, generada en el instrumental mencionado.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla I.

Formulación	Temperatura de fusión (°C)
1 (P)	54
2 (CP)	63
3 (CAP)	60
4 (A)	63
5 (CoA)	61
6 (M)	79

Tabla I. Temperatura de fusión de las formulaciones evaluadas.

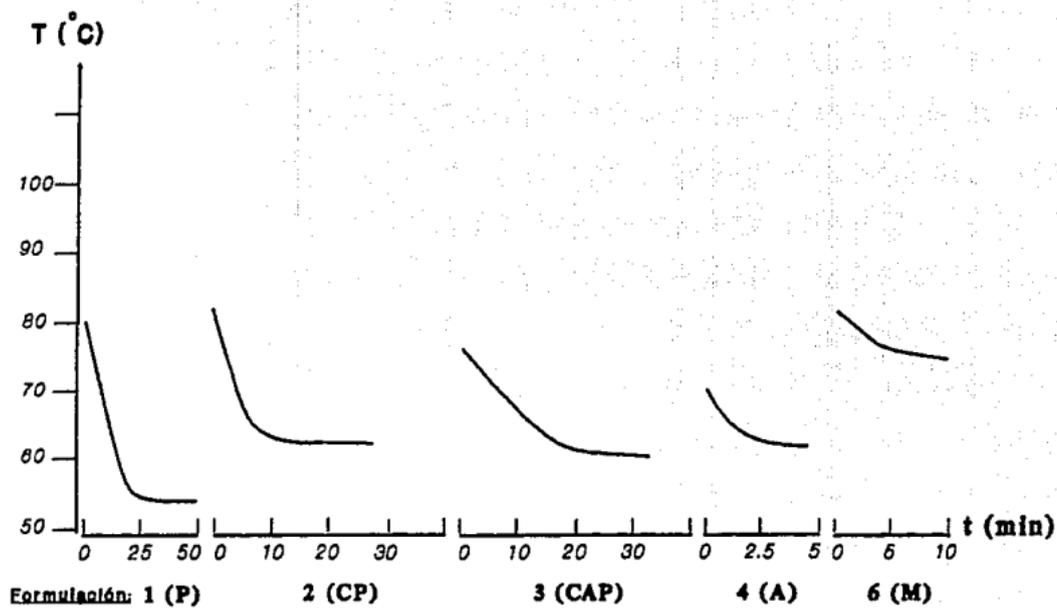


Figura 7. Curvas de enfriamiento generadas durante la determinación de la temperatura de fusión de las ceras.

B.- Contenido de cenizas.

Una vez que los crisoles en que se llevó a cabo el análisis se llevaron a peso constante, es decir, que su peso entre calcinación y calcinación no varió en más de 0.5 mg., se calculó el porcentaje de sólidos no combustibles de acuerdo con la siguiente expresión.

$$\% \text{ cenizas} = \frac{P_f - P_c}{P_m} * 100$$

en donde: P_f representa el peso constante alcanzado por el crisol con el residuo

P_c es el peso del crisol luego de la deshidratación y

P_m es el peso de la muestra de cera.

En la tabla II pueden apreciarse los resultados que se obtuvieron.

Formula- ciones.	P_m (g)	P_c (g)	I	II	III	Cenizas (%)
1 (P)	2.1547	18.0132	18.0183	18.0181	--	0.2274
2 (CP)	2.0440	30.2688	30.2755	30.2755	--	0.3278
3 (CAP)	2.0636	18.7211	18.7284	18.7282	--	0.3441
4 (A)	2.1455	19.5827	19.5933	19.5930	--	0.4801
5 (CoA)	1.7190	17.5057	17.5090	17.5085	--	0.1629
6 (M)	1.9277	18.0158	18.0183	18.0177	18.0182	0.1245

Tabla II. Contenido de cenizas de las ceras analizadas.

C.- Fluidez.

Luego de que los modelos de tiras colados en cera se solidificaron y enfriaron, se midió la longitud total de las tiras que llenó la cera antes de solidificar, utilizando la siguiente expresión para calcular el índice de fluidez:

$$I.F. = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}{4}$$

donde: L_1, L_2, L_3 y L_4 son las longitudes alcanzadas por cada una de las tiras de cera en los canales del molde.

Para facilitar la comparación entre los diferentes resultados se calculó una segunda variable, la fluidez (%), de la siguiente manera:

$$\text{Fluidez (\%)} = \frac{I.F.}{L_T} * 100$$

donde: $I.F.$ es el índice de fluidez y L_T es la longitud total de cada tira en el molde y corresponde a 203.0 mm

En la tabla III se presentan las mediciones hechas así como los resultados generados, mientras que en la fig. 6 se exhiben algunos de los modelos fabricados:

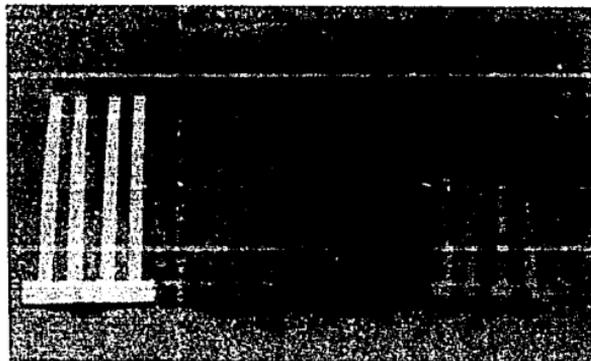


Figura 6 Modelos de cera elaborados en la prueba de fluidez

Formulación	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L4 (mm)	I F	Fluidez (%)
1 (P)	203	203	203	203	203	100
2 (CP)	163	160	158	159	160	78.8
3 (CAP)	203	199	190	188	195	96.1
4 (A)	180	160	154	150	161	79.3
5 (CoA)	36	39	38	34	37	18.1
6 (M)	180	132	133	111	139	68.5

Tabla III. Fluidez de las formulaciones estudiadas.

D.- Dureza.

De las 7 lecturas de dureza obtenidas para cada prisma, se procedió a eliminar la más alta y la más baja, y se calculó el promedio y la desviación estándar de las restantes.

En la tabla IV se muestran los resultados de las operaciones antes descritas.

Formulación	Dureza (Shore A)							Prom.	S
	1	2	3	4	5	6	7		
1 (P)	54*	62	64	64	68*	60	64	62.8	1.8
2 (CP)	85	90*	88	85	80*	80	80	83.6	3.5
3 (CAP)	78*	78	78	73*	76	73	73	75.6	2.5
4 (A)	55	55	50*	55	54	56*	53	54.4	0.9
5 (CoA)	81*	75*	76	79	80	75	79	77.8	2.2
6 (M)	76*	69	70	74	70	68*	70	70.6	2.0

* Lecturas eliminadas

Tabla IV. Cálculo de la dureza de las ceras evaluadas

E.- Contracción durante la solidificación.

Una vez medidos los volúmenes de agua utilizados para llenar el vacío producido por la contracción que sufrió cada formulación, se calculó el porcentaje de contracción siguiendo la expresión

$$\text{Contracción (\%)} = \frac{V_A}{V_T} \times 100$$

donde: V_A es el volumen de agua utilizada en llenar el rechufe y V_T es el volumen total interior del molde que corresponde a 350 ml

Luego, las piezas de cera fueron seccionadas longitudinalmente para verificar que el rechufe se produjera sólo en la región central (piping), hecho que efectivamente ocurrió (ver fig 9).

Los resultados de los cálculos realizados se presentan en la tabla V

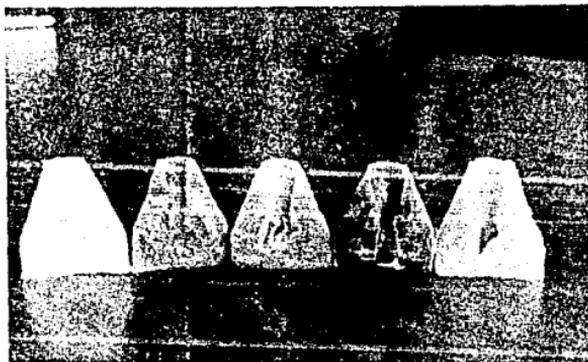


Figura 9. Sección longitudinal de las piezas fabricadas en la prueba de contracción.

Formulación.	VA (ml)	Contracción (%)
1 (P)	3.8	10.9
2 (CP)	5.1	14.6
3 (CAP)	3.8	10.9
4 (A)	3.0	8.6
5 (CoA)	2.0	5.7
6 (M)	4.8	13.7

Tabla V. Resultados de la prueba de contracción.

F.- Calidad de los modelos de cera.

En general, los modelos de cera reprodujeron con detalle los objetos originales (fig. 10 y 11), aunque cabe destacar algunos puntos.

En el caso de la cera No. 1 (P), se observaron pequeñas burbujas de aire atrapadas inmediatamente abajo de la superficie del modelo.

Por otra parte, las formulaciones Nos. 2 (fig. 12) y 6 (CP y M) presentaron pliegues que semejan arrugas en las superficies que debieran ser lisas y mala reproducción de los detalles en algunas zonas.

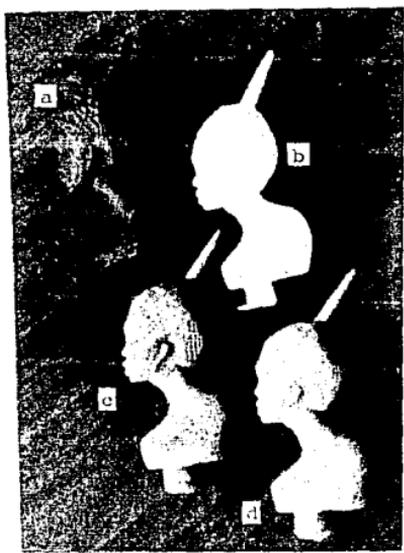
La mezcla No. 5 (CoA) no llenó totalmente la cavidad del molde por cuanto toca a algunas partes de sección pequeña.

En cuanto a las diferencias dimensionales, una vez tomadas las medidas, se sacó un promedio entre ellas y se calculó el porcentaje de variación con respecto al original y la variación dimensional promedio de acuerdo a las expresiones siguientes:

$$\text{Variación (\%)} = \frac{D_m - D_o}{D_o} * 100$$

donde: D_m es la dimensión del modelo y
 D_o es la dimensión correspondiente del objeto original.

$$\text{Variación dimensional promedio} = \frac{\sum | \text{variación (\%)} |}{2}$$



Figuras 10 y 11. Objetos originales y replicas en cera

- a) Objeto Original
- b) Formulacion No. 1 (P)
- c) Formulacion No. 2 (CP)
- d) Formulacion No.3 (CAP)
- e) Objeto Original
- f) Formulacion No. 4 (A)
- g) Formulacion No. 5 (CoA)
- h) Formulacion No. 6 (I-I)

donde: $| \text{variación} (\%) |$ es el valor absoluto del porcentaje de variación.

Los resultados se muestran en la tabla VI.

Pieza	Formulación	Dim 1 (mm)		Dim 2 (mm)		Var. Dim. Prom.		
		Original	Var(%)	Original	Var(%)	Original	Var(%)	
A	1 (P)	26.30	26.30	0.00	96.00	97.60	-1.64	0.82
A	2 (CP)	26.25	26.30	-3.99	94.60	97.60	-3.07	3.53
A	3 (CAP)	26.00	26.30	-1.14	94.40	97.60	-3.28	2.21
B	4 (A)	76.40	76.50	-0.13	4.30	4.50	-4.44	2.29
B	5 (CoA)	74.20	76.50	-3.01	4.50	4.50	0.00	1.51
B	6 (M)	73.50	76.50	-3.92	4.40	4.50	-2.22	3.07

Tabla VI. Variación dimensional de los modelos de cera.

V/ DISCUSION.

En la tabla VII se presentan de manera resumida los resultados obtenidos.

Del análisis de éstos se desprende que ninguna de las formulaciones evaluadas reúne todas las características que se precisan para la fabricación de modelos (poca contracción cuando solidifica, buena fluidez, resistencia y elasticidad, bajo contenido de cenizas, buena reproducción de detalles, etc...)

La cera Nº 1 (P) presenta el más bajo punto de fusión de todas (54°C), con una de las durezas más bajas (62.8), lo que la hace muy flexible y fácilmente deformable. Exhibe un contenido de cenizas medio (0.2274%) aunque, como todas las demás, demasiado alto de acuerdo a lo recomendado en la literatura [25]. A pesar de que esta formulación muestra el máximo de fluidez (100%), que aparentemente es aún mayor bajo las condiciones de colada fijadas y la variación dimensional promedio más baja (0.82), sufre, durante la solidificación, una contracción relativamente alta (10.9%).

Formulación	Temp. Fusión °C	Cont. Cenizas (%)	Fluidez (%)	Dureza Shore A	Contracción (%)	Reprod. detalles	Var.Dim Prom (%)
1 (P)	54	0.2274	100.0	62.8	10.9	buena	0.82
2 (CP)	63	0.3278	78.8	83.6	14.6	mala	3.53
3 (CAP)	60	0.3441	96.1	75.6	10.9	buena	2.21
4 (A)	63	0.4801	79.3	54.4	8.6	buena	2.29
5 (CoA)	61	0.1629	18.1	77.8	5.7	buena	1.51
6 (M)	79	0.1245	68.5	70.6	13.7	mala	3.07

Tabla VII. Cuadro General de resultados

La formulación Nº 2 (CP), muestra una temperatura de fusión media (63°C) y la más alta dureza de entre todas ellas (83.6), lo que le confiere resistencia y la hace sumamente rígida y frágil. Presenta una fluidez media (78.8%), un alto contenido de cenizas (0.3278%) y los valores más altos de contracción durante la solidificación (14.6%) y de variación dimensional

promedio (3.53%). Por otro lado, los modelos colados con esta cera exhibieron bandas (arrugas) en las superficies que debieran ser lisas (fig.12).



Figura 12 Detalle del modelo elaborado con la formulación Nº 2 (CP)

La mezcla Nº 3 (CAP) muestra un punto de fusión medio (60°C) y una buena fluidez (96.1%), así como una dureza media (75.6), lo que la hace resistente a la deformación y flexible. Además, los modelos colados con ella presentan un acabado superficial terso. Sin embargo, muestra un alto contenido de cenizas (0.3441%), elevada contracción al solidificar (10.4%) y una apreciable variación dimensional promedio (2.21%).

En cuanto a la cera Nº 4 (A), esta presenta un punto de fusión y una fluidez medianas (63°C y 79.3% respectivamente), y el más alto contenido de cenizas (0.4801%). Por otro lado, al corresponderle la dureza más baja de todas (54.4), se muestra como la más fácilmente deformable, además de exhibir apreciables niveles de contracción (8.6%) y de variación dimensional promedio (2.29%).

La formulación Nº 5 (CoA) presenta un punto de fusión medio (61°C), una alta dureza (77.8) que le comunica rigidez y fragilidad, un relativamente

bajo contenido de cenizas (0.1629 %), el porcentaje de contracción más bajo (5.7%) y uno de las menores variaciones dimensionales promedio (1.51%). Los modelos colados con esta cera presentan una superficie dura y tersa, pero con secciones faltantes (partes de pequeño espesor). Esto se debe a que muestra la menor fluidez de entre las formulaciones evaluadas (18.1%).

Por último la cera Nº 6 (M) tiene el punto de fusión más alto (79°C), dureza y fluidez medias (70.6 y 68.5% respectivamente) y el menor contenido de cenizas de todos (0.1245%). Sin embargo, presenta una variación dimensional promedio apreciable (3.07%) y un porcentaje de contracción alto (13.7%). Además, los modelos colados con esta cera presentan "arrugas" en las superficies que debieran ser lisas.

Así pues, como ya se mencionó, ninguna de las formulaciones evaluadas presenta todas las características deseables en una cera para modelado, aunque es posible que, de acuerdo a sus propiedades, éstas se apliquen a situaciones particulares.

Para casos en que las tolerancias no sean muy estrictas y no se requiera un acabado superficial terso o incluso se busque una superficie rugosa, como en los trabajos artísticos, pueden ser utilizadas las formulaciones Nos. 2 (CP) ó 6 (M).

Cuando los modelos a elaborar sean pequeños, sin partes de sección estrecha, pero donde las tolerancias sean importantes, se puede utilizar la mezcla Nº 5 (CoA).

En el caso de piezas mayores y/o con secciones pequeñas y cuando los modelos no se manipulen constantemente, se recomienda el uso de las formulaciones Nos. 1 (P) ó 4 (A).

Si las piezas a elaborar son mayores, con secciones pequeñas y se requieren modelos resistentes, se puede usar la mezcla Nº 3 (CAP).

Por otro lado, se puede observar una tendencia a que las ceras que presentan una mayor contracción al solidificar, presentan también una mayor variación dimensional promedio.

VI/ CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos podemos concluir que:

- 1.- Todas las formulaciones evaluadas sobrepasan el contenido máximo de cenizas recomendado en la literatura [25].
- 2.- Existe la tendencia de que a mayor temperatura de fusión, las ceras presenten una menor fluidez.
- 3.-En general, las mezclas de cera estudiadas presentan mayor dureza cuanto mayor sea su temperatura de fusión.
- 4.- En general, existe la tendencia de que cuanto mayor sea la contracción de las formulaciones al solidificar tanto mayor será la variación dimensional promedio de los modelos elaborados.

VII/ RECOMENDACIONES.

El campo de investigación y experimentación del proceso de cera perdida es aún amplio y variado.

En el área de caracterización de ceras, creemos importante el que se evalúen nuevas formulaciones en las que además de las ceras se incluyan polímeros y resinas sintéticas para un mejor control de sus propiedades.

Asimismo, juzgamos pertinente que dentro de las pruebas de evaluación se incluya la expansión térmica de las formulaciones para determinar los posibles daños que puedan sufrir los moldes cerámicos al calentarse durante el descerado.

VIII/ ANEXO A.

ELABORACION DE UN MOLDE DE HULE DE SILICON CON REFUERZO DE YESO A PARTIR DE UN MODELO DE TIRAS DE MADERA.

El hule utilizado fué el silastic RTV 3112 con catalizador 1 AMX, de Dow Corning.

Primero, el modelo de tiras se recubrió con una capa más o menos uniforme de plastilina de aproximadamente 3 cm. de espesor y se construyó alrededor un marco de cartón que sobrepasara 3 cm. la altura del modelo recubierto.

Luego se construyó el refuerzo vaciando el yeso preparado sobre el conjunto, dejándolo fraguar por 30 min., retirándolo y haciéndole 3 barrenos que comunicaran el vacio producido por el modelo con la parte superior.

Se retiró la plastilina del modelo, se barnizaron madera y marco con una solución concentrada de jabón de pasta, que sirvió como desmoldante, se colocó el refuerzo totalmente seco sobre el modelo y se vació, por uno de los barrenos, el hule catalizado en proporción 1:10, dejándolo fraguar por 24 hrs.[30].

Por otro lado, se construyó la tapa del molde haciendo, simplemente, un marco de cartón sobre una superficie plana horizontal, vaciando el hule catalizado y dejándolo fraguar por 24 hrs. [30]. Posteriormente, se le hizo una perforación por donde vaciar la cera para elaborar los modelos. El molde completo puede observarse en la fig. 3.

IX/ ANEXO B.

FABRICACION DE MOLDES DE HULE DE SILICON PARA LA PRODUCCION DE MODELOS DE CERA.

Las técnicas seguidas en la construcción del molde de la talla en madera y de la concha de caracol fueron similares a las descritas en la literatura [31]

En primer lugar se limpiaron perfectamente los objetos originales para eliminar grasa, polvo o arena.

Luego se construyó un marco de cartón alrededor de cada uno de ellos y se colocaron sobre una base de madera, adicionándoles un rudimentario sistema de colada (bajada), construido con plastilina.

Se fabricó una plantilla de plastilina que rodeaba el modelo a la altura de la mitad de cada pieza y se colocó una ceja del mismo material sobre la plantilla para hacer coincidir, posteriormente, las dos partes del molde.

Con ayuda de un pincel se barnizó el conjunto con una solución concentrada de jabón de pasta, que sirvió como desmoldante.

El hule usado fue el Silastic RTV 3112 de Dow Corning que, una vez mezclado con el catalizador 1 AMX en proporción 1:10, se vació sobre los objetos, dejándose fraguar por 24 hrs. [30].

Construida la primera mitad del molde, se eliminó la plantilla de plastilina, se barnizó con el desmoldante la nueva superficie expuesta y se coló la otra parte con el hule catalizado, debiendo esperar otras 24 hrs. para su total fraguado.

Cuando se consiguió esto, se separaron las partes del molde y se extrajo el objeto original quedando el primero listo para colar las ceras (fig. 6).

X/ BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Beeley,P.R.: Foundry Technology; Newnes-Butterworths, England, 1979
- 2.- Sylvia, J.G.: Cast metals technology; Adlsson-Wesley, U.S.A., 1972
- 3.- Krohn,B.R.: The art and science of investment casting; Modern Casting, Dec 1984,74,(12), 22-26.
- 4.-Fundamentals of Investment casting; Precision Metal, Feb 1983, 41, (2) 15-17,20.
- 5.-Smart,R.F.: Fifty years of Investment casting; Metallurgia,Nov 1985, 52, (11), 458-459.
- 6.- Grinberg, D.M.K. de : El nacimiento de la metalurgia; Ciencia, 1983,(34),67-75.
- 7.- Krysko,W.W.:The birth of metallurgy; Journal of metals, July 1980,32,(7),43-45.
- 8.- Ahuja, O.G.: La orfebrería en la cuenca de México (en : Orfebrería Prehispánica; Corporación Industrial Sanluis, México, 1989).
- 9.- Torres, M.L.: y Franco, V.F.: La Orfebrería prehispánica en el golfo de México y el Tesoro del pescador.(en : Orfebrería Prehispánica; Corporación Industrial Sanluis, México, 1989).
- 10.- Lothrop, S.K.: Metals from the Cenote of sacrifice, Chichen Itza, Yucatán; Cambridge, Published by the Museum, U.S.A. , 1952.
- 11.- Aguilar P.C.: La orfebrería en el México precortesiano; México 1946 (en : Orfebrería Prehispánica; Corporación Industrial Sanluis, México, 1989).
- 12.-Sahagún, Fr. B de: Historia General de las cosas de la Nueva España; Porrúa, México, 1979.
- 13.- Investment Casting Handbook; Investment Casting Institute, U.S.A., 1979.
- 14.- Coghil,T.L.: Ductil Iron: a new investment casting material; Metal Progress, Dic 1979, 116,(8), 40-44.
- 15.-State of the art preheat furnaces meet needs of high-tech investment Casting Plant; Modern Casting, September 1985, 75,(9),70.
- 16.- Precision components-Investment casting provides an alternative manufacturing route; Metallurgia, March 1985,52,(3), 99-100.
- 17.- Weiner,S.A. et al : Evaporative casting process: Some metallurgical considerations; Metal Progress, Dec. 1982, 122, (8), 21-26
- 18.- Kanicki,D.P.: New technologies Shaping Foundries of the future; Modern Casting, October 1985, 75, (10), 29-32.
- 19.-Rodgers,R.C.: Growth In Evaporative Pattern Casting; Foundry Management and Technology, May 1985, 113, (5), 24-26, 28.
- 20.-Dieter,M.B.: Full Mold Process BigInnings; A.F.S Transactions 1990,98,(188), 943-946.

- 21.- Evaporative pattern casting; Foundry Trade Journal, Dec 1987, 10-24, (161), 996-997.
- 22.- Patz, M. : Lost Foam Process update; A.F.S. Transactions, 1985, 93, (153), 901-902.
- 23.- Lost foam Casting-shaping up the future; The British Foundryman, Dec. 1986, 79, (10), 466, 458-469.
- 24.- Troxler, J.A.Jr.: The prospects for lost foam in 1995; A.F.S Transactions, 1990, 98, (115), 371-378.
- 25.- Manzano, A. et al. : Estudio de las ceras empleadas en la técnica de vaciado por Investmento, ponencia presentada en el XI Congreso de la Industria de la Fundición, Monterrey N.L., Oct. 1991.
- 26.- Standard test method for melting point of petroleum wax (cooling curve); ASTM, D87-87.
- 27.- Standard test method for ash from petroleum products; ASTM, D482-87.
- 28.- Standard test method for needle penetration of petroleum waxes; ASTM, D1321-86.
- 29.- Standard test method for rubber property-durometer hardness; ASTM D2240-86.
- 30.- Silicone moldmaking materials from Dow-Corning; Dow Corning Corporation, U.S.A., 1987.
- 31.- Rosillo, J. y Trejo, A.: Moldes de silicón; Ediciones Poliformas, México, 1984.