

T  
671.25  
A325  
C.2



BIBLIOTECA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

# Facultad de Ingenieria Mecinica



"ESTUDIO SOBRE MEZCLAS DE CERAS PARA PROCESOS DE  
FUNDICION DE PRECISION"

## TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de  
**INGENIERO MECANICO**

Presentada por:

**Hugo Albarracín Peliez**



Guayaquil

.

Ecuador

1990

D E D I C A T O R I A

A LA MEMORIA DE MI PADRE

A MI MADRE

A MIS HERMANOS

A MI ESPOSA

A MI HIJA

A G R A D E C I M I E N T O

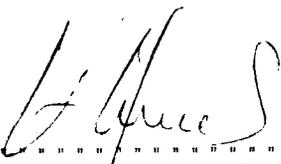
AL ING. IGNACIO WIESNER

Director de Tesis, por su ayuda  
y colaboración para la realiza-  
ción de este trabajo.

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).

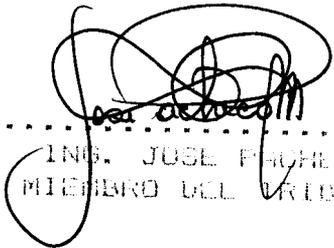
  
.....  
Hugo E. Albarracín Peláez.



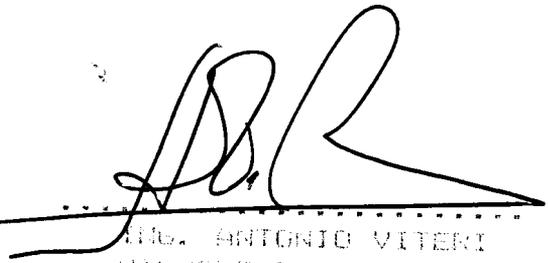
ING. NELSON DEVALLOS  
DECANO FID.



ING. EUSEBIO WIESNER  
DIRECTOR DE TESIS



ING. JOSE PROHELO  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING. ANTONIO VITERI  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....  
ING. IGNACIO WIESNER F.  
Director de tesis

## I N D I C E   G E N E R A L

RESUMEN .....	
INDICE GENERAL .....	
INTRODUCCION .....	
1.0 CONSIDERACIONES GENERALES .....	
1.1 CARACTERISTICAS DE LAS CERAS NATURALES .....	
1.2 CARACTERISTICAS DE LAS CERAS SINTETICAS .....	
1.3 MEZCLAS TIPICAS USADAS EN EL PROCESO DE FUNDICION .....	
1.4 PROPIEDADES Y ASPECTOS TECNICOS DE LAS MEZCLAS .....	
1.5 PROCESOS USADOS PARA HOLDEO DE CERAS .....	
1.6 TIPOS DE ENSAMBLE DE MODELOS .....	
1.7 PROCESOS DE MOLDEO USADOS PARA EL COLADO .....	
2.0 EXPERIMENTACION DE TECNICAS Y MATERIALES.....	
2.1 METODO DE EXPERIMENTACION.....	
2.2 SELECCION DE MATERIALES Y PUESTA A PUNTO DE LA MAQUINA DE INYECCION .....	
2.3 ESTUDIO DE PARAMETROS DEL PROCESO .....	
2.3.1 PORCENTAJE DE COMPONENTES DE LA MEZCLA...	
2.3.2 TEMPERATURA DE INYECCION .....	
2.3.3 PRESION DE INYECCION .....	
2.3.4 TIEMPO DE DESMOLDEO .....	
2.3.5 PORCENTAJE DE CONTRACCION LINEAL DE	

LA CERA .....  
2.4 ELABORACION DE PROBETAS DE FUSION .....  
2.5 ENSAMBLE DE MODELOS, RECUBRIMIENTO Y PRUEBAS  
DE FUSION .....  
2.6 CONTROL DIMENSIONAL DE PRODUCTOS FUNDIDOS .....  
2.7 DISCUSION DE RESULTADOS .....  
CONCLUSION Y RECOMENDACIONES .....  
BIBLIOGRAFIA .....



## RESUMEN

En el presente trabajo se han usado ceras comerciales tanto naturales como artificiales para la fabricacido de modelos de fundicidn que serdn posteriormente recubiertos con materiales cerdmicos' y daran paso al proceso de fabricacido llamado moldeo de precisi3n o cera perdida.

Se us3 una inyectora de ceras de baja presi3n Y se obtubieron probetas para ensayarlas a la flexi3n en una m3quina universal de ensayos de arena y se controlaron los grados de contracci3n para diferentes condiciones de Temperatura de inyeccidn y presi3n de inyecci3n.

Los resultados encontrados demuestran que los materiales y mezclas ensayadas satisfacen plenamente las condiciones que exige el proceso . Sustituyendo de esta forma materiales importados de costo mucho mds altos.

## INTRODUCCION

Bajo la denominación de fundición de precisión, microfundición o fundición a la cera perdida, se designan todos aquellos procedimientos de fundición en los cuales los moldes se fabrican con ayuda de modelos constituidos por un material fusible.

Una característica esencial de la microfundición es el empleo de un modelo de cera que se recubre posteriormente con una masa cerámica, formando un molde de una sola pieza, cerrado por todas partes y con una única abertura por la cual se elimina la cera al calentar el molde y se verterá el metal en estado de fusión.

Otras características de este proceso de fundición son :

- Máxima libertad de configuración de piezas
- Gran exactitud respecto a los demás procesos de fundición
- Posibilidad de aplicación a casi todas las aleaciones técnicamente utilizables, variando materiales de moldeo y condiciones de fundición.

El proceso de fundición de precisión o cera perdida pertenece a las técnicas más antiguas de la humanidad, no se sabe exactamente cuando se descubrió el proceso de moldeo a la cera perdida.

Las piezas más antiguas que se conocen fundidas mediante modelos perdidos tienen aproximadamente unos 4000 años

antes de Cristo, provenientes del Asia Menor.

Los artesanos Egipcios poseían generalmente una colección de coquillas para la fabricación de modelos de cera de diferentes partes requeridas en la confección de estatuillas de Hombres, Dioses, y animales que podían combinarse entre sí.

Durante los siglos XV y XVI aparecen interesantes piezas fundidas por tribus negras Africanas. Las piezas halladas<sup>4</sup> fueron igualmente obtenidas mediante modelos de cera.

Entre una variedad de ejemplos de obras antiguas realizadas mediante el proceso de cera perdida tenemos:

Las puertas de bronce de la catedral Mainz, las puertas de Nowgorod y Gnesen, La columna del Cristo de San Bernward en la catedral de Hildesheim, así como los Pórticos del Baptisterio de Florencia, la famosa estatua de Perseo en los años 1548-49, obra realizada por Benvenuto Cellini.

Otras piezas de gran importancia son las piezas de joyería en metales preciosos, al igual que la industria de la bisutería.

A principios de nuestro siglo la técnica dental comenzó a utilizar para sus fines los procedimientos que usaban utilizando los artistas y joyeros. Mediante modelos de ceras que se modelan a partir de la dentadura del paciente, se funden prótesis dentales, empastes y coronas

en aleaciones de oro y cobalto

El campo de aplicación de la microfundición estuvo durante muchos años limitado a las aleaciones de bajo punto de fusión, pero durante el período de la segunda guerra mundial se extendió a las aleaciones duras altamente refractarias y de difícil mecanización, empleadas para la construcción de alabes de turhina para turbopropulsores en aleaciones de cobalto altamente refractarias.

Con mejoras posteriores en tecnología y materiales se ha alcanzado el actual desarrollo de la microfundición, capaz de ser realizado con cualquier tipo de aleación. El objetivo principal de esta Tesis es realizar la experimentación con mezclas de ceras para la fabricación de modelos a utilizarse en fundición.

Los principales puntos a ejecutarse son :

- Selección de materias primas existentes en el mercado nacional
- Formulación de mezclas
- Elaboración de probetas de ensayo
- Elaboración de modelos

Parte del equipo para realizar la experimentación existe en el taller de fundición de la ESPOL, esto es una inyectora de ceras y un compresor de aire, faltando por construir los moldes matriz para probetas de ensayo y modelos de fundición.

## CAPITULO J

### 1.0 CONSIDERACIONES GENERALES

#### CARACTERISTICAS REQUERIDAS PARA LOS MATERIALES USADOS EN MICROFUSION

En el proceso de fundición a la cera perdida se utilizan una gran variedad de materiales para la elaboración de modelos.

A estos materiales pertenecen una gran diversidad de productos naturales de origen orgánico así como de origen sintético.

- En los primeros tiempos se utilizaba primordialmente para la fundición artesanal la cera de abeja, posteriormente se utilizo mezclas con otros tipos de ceras naturales y resinas sinteticas .

Dentro de la variedad de materiales usados para la fabricación de modelos, son las mezclas de ceras las más conocidas y apropiadas ya que pueden reproducir los detalles más finos. no queda residuos sobre el molde y por

último el material puede ser recuperado nuevamente. Los materiales usados en microfundición deben reunir ciertas características Físicas y Mecánicas.

Las principales propiedades para mezclas de ceras a utilizarse en la fabricación de modelos por inyección a presión son :

- Punto de goteo máximo 90 grados centígrados.
- Contracción lineal. máximo 1.6 %
- Dureza entre 6 y 10
- cenizas máximo 0.5 %

La contracción lineal es un factor muy importante pues de esta depende la exactitud y tolerancia dimensional del producto final. Las variables que afectan la contracción son la Temperatura Y presión de inyección de la cera y la temperatura del molde al momento de realizar la inyección.

El porcentaje de cenizas es pequeño por el hecho de que una cantidad considerable de estas causa depósitos e imperfecciones en la superficie de reproducción.

## 1.1 CARACTERISTICAS DE LAS CERAS NATURALES

El término Inglés WAX se deriva del Anglosajón WEAX, nombre inicial dado al producto natural recogido de la bresca de las abejas .

En los tiempos modernos el término cera a tomado un

sentido más amplio, se aplica generalmente a todos los sólidos cerosos naturales o sintéticos, y a los líquidos cuando están compuestos de ésteres de alcohol monovalente.

A diferencia de los aceites ordinarios de origen animal vegetal y los ceros de animales, las ceras en pocas ocasiones están libres de glicéridos que son los constituyentes comunes de los aceites y grasas.

### CERAS ANIMALES Y VEGETALES

La cera de insecto más importante desde el punto de vista económico es la cera de abejas, secretada por éstas en la colmena .

Los componentes químicos de la cera de abejas son ésteres alquílicos de los ácidos monocarboxílicos (71-72 %), ésteres de colesterol (0.6 - 0.8 %), materia colorante (0.3%), lactona (0.6%), alcoholes libres (13.5-14.5%), hidrocarburos (10.5-11.5%), humedad e impurezas (0.92-2%) el palmito de miricirilo C46 H92 O2 es el principal constituyente de los ésteres alquílicos simples (49-53 %) los ésteres simples incluyen ésteres alquílicos de ácidos grasos no saturados.

Los ésteres complejos comprenden ésteres hidroxilos cuyo principal componente es el hidroxipalmito de cerilo C42 H84 O3.

El principal ácido ceroso libre es el ácido cerótico cuya

fórmula química es  $C_{26}H_{52}O_2$ .

El hidrocarburo más importante es el hentriacontano con fórmula  $C_{31}H_{64}$ .

En el comercio la cera de abeja se presenta en forma de masas amarillentas o blancuscas, de tacto algo graso y fractura granujienta, se ablanda a la temperatura de **40** grados centígrados y se diluye aproximadamente a los **64**, tiene una densidad de 0.96 , arde desprendiendo una llama blanca, es insoluble al agua, pero se disuelve en forma perfecta en aceites y grasas .

También se disuelve en sulfuro y tetracloruro de carbono en bencina, cloroformo y en esencia de trementina.

Entre los varios usos de la cera de abeja tenemos los siguientes .

Baños de electrotipia (arte de reproducir por medio de la galvanoplastia grabados y composiciones tipográficas ordinarias), cremas cosméticas , cintas adhesivas, cápsulas de municiones, modelado de flores, constituyentes para cremas de zapatos, ceras para doradores, pinturas industriales, y ceras para modelos de fundición.

## CERAS VEGETALES

Las ceras vegetales son obtenidas de plantas, se presentan en las hojas, tallos, corteza, frutos, flores y raíces, a

este tipo de ceras pertenecen las siguientes :

#### CERA DE CARNAUBA.

Una cera de gran importancia económica es el producto suministrado por la recolección de las hojas de la palmera carnauba.

La cera se separa de las hojas desecándola al sol y después cortándolas , triturándolas y batiéndolas, la cera pulverizada se funde en una marmita de arcilla o de hierro sobre un fogón , se cuela, se moldea en bloques y se corta en pedazos para una posterior utilización.

La cera de carnauba presenta una masa porosa, cuando se la añade con otro tipo de cera eleva la dureza y el punto de fusión, así como también acorta el tiempo de solidificación .

Como todo tipo de cera dura, es un tipo de material que tiende a reducirse, tiene bastante similitud con la cera de candelilla que aún es más blanda.

La cera de carnauba se disuelve bien en trementina de nafta, disoluciones a partir de la cuál se gelifica por enfriamiento, tiene un buen poder de retención del disolvente.

Al añadir cera de carnauba a la parafina en un 2.5 % se eleva el punto de fusión enormemente (de 55 a 77 grados centígrados), lo cuál hace de ella un ingrediente

sumamente útil en la producción de ceras mixtas baratas de elevado punto de fusión.

La composición química de la carnauba comprende del **84 al 85 %** de ésteres alquílicos de ácidos grasos superiores. De estos ésteres solo del **8 al 9 %** (calculado sobre la masa) son ésteres simples de ácidos normales.

Los demás ésteres son, ésteres ácidos **8-9 %**, diésteres **19-21 %**, ésteres ácidos hidroxilados **50-53 %**, de los que una tercera parte no son saturados.

Los ésteres saturados hidroxilados dan carnauba de extrema dureza, mientras que los ésteres de ácidos grasos no saturados hidroxilados producen un brillo notable para pulimentos.

La cera de carnauba presenta un punto de fusión de **88** grados centígrados, tiene una resistencia comparativa de **2.1** con respecto de la parafina, (parafina =1), y presenta una contracción lineal de hasta un **20 %**.

#### **CERA JAPONESA.**

De las ceras obtenidas de frutos, la de mayor importancia económica es la cera japonesa que se obtiene de las pepitas de los frutos del árbol de zumaque. Esta cera es realmente un cebo vegetal, puesto que comprende del **90 al 95 %** de glicéridos, estos glicéridos comprenden del **3 al 6.5 %** (sobre la cera) de ésteres alquílicos de ácidos

monocarboxílicos y dicarboxílicos.

El principal Acido dicarboxílico conocido como Acido japonico cuya fórmula química es  $(CH_2)_{19}(COOH)_2$ , se halla presente con homólogos inferiores y superiores . La cera japonesa es relativamente blanda, pero sólida funde entre 48.5 y 54.5 grados centigrados.

#### ESTEARINA

Se forma a partir de la fusión de productos animales, en su mayor parte está compuesta de Acido esteárico, sustancia amarillenta o blanca, la estearina al ser mezclada con otras ceras eleva la resistencia y dureza de la mezcla, a su vez baja el punto de fusión, tiene la capacidad de aumentar el rango de solidificación.

#### ACIDO ESTEARICO.

Este ácido pertenece al grupo de ácidos carboxílicos, son clasificados como ácidos en virtud de la ionización del hidrógeno carboxílico. Este ácido con fórmula química  $C_{17}H_{35}COOH$  se presenta como un componente importante de las grasas animales (20-30 %) y manteca de cacao (34 %) y se encuentra en cantidades menores en casi todas las grasas y aceites.

Aunque se dispone de ácido esteárico en calidades que varían entre el 45 y 95 %, el denominado Acido esteárico

comercial se usa mds frecuentemente .

El ácido esteárico encuentra aplicación en las combinaciones de caucho como agente dispersante y activador de los aceleradores . Los ácidos esteárico y palmítico y sus derivados se utilizan para la fabricación de jabones, velas, cosméticos, productos farmacéuticos y en revestimientos protectores.

### CERAS MINERALES

Las ceras fósiles estdn asociadas con los restos fósiles que no han sido enbetunados, es decir convertidos en hidrocarburos por un cambio geológico. Entre las ceras más importantes están las siguientes.

#### CERA DE MONTANA.

La cera de montana es una cera mineral natural esencialmente de ésteres y que ha experimentado una bituminación parcial . La cera montana cruda es negra y contiene alrededor del 30 % de resinas que por refinación se reduce al 10 % o menos.

Los componentes quimicos de la cera montana (desresinificada) son Csteres alquílicos de hidroxiácidos grasos (18 %), ácidos céreos libres (18 %), alcoholes monovalentes libres (menos del 12), y cetonas (menos del 10 %).

Hay cierto número de usos industriales para la cera montana, entre ellos tenemos aislamientos eléctricos, acabados para cuero, pulimentos, papel carbón, etc.

La cera de montana es una masa dura porosa y su sección de rotura presenta una forma de concha, cuando se la junta con compuestos parafínicos, esta unión hace que el punto de fusión se eleve, también se eleva la dureza y el rango de solidificación se acorta.

La cera montana es la materia prima para la fabricación de modelos para fundición a base de llama, entre las ceras duras resulta ser la más barata.

#### OZOCERITA

La cera térrea de mayor importancia económica es la ozocerita que originalmente se la llamo ceresina, sus principales componentes químicos son hidrocarburos de un tipo distinto a los encontrados en las ceras parafínicas, estos hidrocarburos le dan propiedades físicas únicas.

El punto de fusión de la ozocerita de Galitzia pura es de 73 grados centígrados, es menos soluble en los disolventes orgánicos que la parafina. Cuando se añade a la parafina en una proporción aproximada de 15 %, reduce los cristales de la parafina al tamaño micro y mejora la resistencia a la tracción.

La ozocerita cruda tiene una constante dieléctrica de 2.37

a 2.43 , la refinada 2.03 .

### CERAS DE PETROLEO.

El petróleo es la fuente singular más grande de ceras de hidrocarburos . En sentido general hay 3 tipos principales de ceras encontradas en el petróleo crudo siendo estas : ceras parafinicas, ceras slop y el petrolato.

#### PARAFINA.

Las ceras parafínicas poseen 14 hidrocarburos que oscilan entre el C18 H38 y el C32 H66, solidifican entre los 27 y 69 grados centigrados.

Ciertas parafinas de refinado especial en bloques duros poseen puntos de fusión de 59 a 60 grados centigrados y de 61.6 a 62.8 grados C., presentan un color que va desde el blanco al verde, tiene una apariencia cristalina en su sección de rotura y es inodora.

Ordinariamente una parafina bien refinada con un punto de fusión de 54.4 grados C. posee una resistencia a la tracción de 18 PSI. y con una adición de 1 a 2 % de una cera que absorba el petróleo de estructura microcristalina se puede aumentar la resistencia a la tracción hasta 25 PSI.

Las ceras parafinicas duras son compuestos de hidrocarburos alifáticos moleculares, se caracterizan por

tener alta dureza, alto punto de fusión y una típica estructura cristalina, su superficie de rotura se presenta en forma de concha. Estas ceras cuando son mezcladas con otras, elevan el punto de fusión y la dureza, la nueva estructura es cristalina fina que se puede apreciar en la superficie de rotura.

#### CERAS MICROCRISTALINAS.

Estas ceras de petróleo están caracterizadas no solo por su estructura microcristalina sino también por su peso molecular medio muy alto que se pone de manifiesto por una viscosidad mucho mayor que la de las ceras parafinicas.

Las ceras microcristalinas se obtienen a partir de :

- a.- La descerificación de los refinados para aceites lubricantes.
- b.- La eliminación del petrolato producido a partir del petróleo residual después de quitarle el asfalto.
- c.- La separación del asfalto y el petróleo de los sedimentos en los tanques que contienen el petróleo crudo en los campos petrolíferos.

Estos tipos de ceras microcristalinas se denominan a veces ceras micro, cera petrolato, y ceresina de petróleo respectivamente . Las ceras micro son clasificadas con punto de fusión ASTM de 62.8 - 65.6, 71.0 - 73.9 grados

C., se refinan por extracción selectiva con disolventes a partir de la cera cruda, éstas ceras son como las parafinicas.

Las ceras de petrolato tienen un punto de fusión que oscila entre 62.8 y 79.4 grados C.

Las ceresinas de petróleo que se separan por refinación de los depósitos formados en los tanques próximos a los pozos o en el almacenamiento de las refinerías, tienen puntos de fusión que varían entre 73.9 y 90.5 grados centígrados.

Una cera microcristalina derivada del petróleo puede definirse como una mezcla de hidrocarburos sólidos de peso molecular medio entre 400 y 800, considerablemente mayor que el de la cera parafina que varía entre 350 y 420 .

La viscosidad SUS. a 99 grados C. de una cera microcristalina cae dentro del intervalo de 5.75 y 25.1 centiestokes.

El valor de penetración **ASTM** varía ampliamente, en general de 3 a 33, aunque se encuentran ceras laminares oleosas con una penetración de 60.

Una cera microcristalina que presenta una penetración de 20 a 30 es deseable para muchos usos.

Entre los muchos usos de las ceras microcristalinas están los aislamientos eléctricos, papeles carbón, tratamiento

de calzado, revestimientos vegetales, emulsiones de cera, figuras, juguetes de cera, en total tiene alrededor de 65 usos.

### CERAS SINTETICAS.

Existe una gran variedad de ceras sintéticas, para una diversidad de usos, entre éstas tenemos :

- 1.- Polimeros de cadena larga de etileno con OH u otro grupo terminal en el extremo de la cadena.
- 2.- Polimeros de cadena larga del óxido de etileno combinado con un alcohol divalente, en este grupo se puede mencionar especialmente el glicol polioxietilénico (carbowax).
- 3.- Naftalenos clorados (halowax).
- 4.- Eter-ésteres polioles céreos como la sorbita polioxietilénica.
- 5.- Ceras de hidrocarburos sintéticos preparadas por la síntesis del gas de agua, en la que el monóxido de carbono CO es reducido por el hidrógeno H<sub>2</sub> bajo presión a una temperatura previamente conocida, por medio de un agente catalítico (ceras Fisher-Tropsch Ft 200 y Ft 300).
- 6.- Ceras de cadena recta y cíclica que son:
  - a.- Las cetonas simétricas producidas por tratamiento catalítico de los ácidos grasos superiores.

- b.- Cetonas simétricas originadas por condensación Friedel-Crafts de los ácidos grasos y lo mismo con los hidrocarburos cíclicos.
- 7.- Derivados amídicos de los ácidos grasos . La longitud de la cadena puede aumentarse por calefacción del ácido graso, como ejemplo tenemos el ácido esteárico con un alcohol aminorico.
- 8.- Productos de condensación imida (N) de carácter céreo, que son los de la reacción de condensación de una mol de anhídrido ftálico con una mol de una amida alifática primaria para producir ftalimida. Las ceras de ftalimida se usan en pulimentos y papel carbón.
- 9.- Esteres de los ácidos grasos con polioxietileno que se producen en la reacción de los polietilenglicoles con ácidos grasos.

Los productos comerciales son sólidos cerosos entre los que se halla el "carbowax 400 monoesteárico".

Algunos de los productos actúan como plastificantes y lubricantes para plásticos, los polietilenglicoles son solubles en agua.

### 1.3.- MEZCLAS TÍPICAS USADAS EN EL PROCESO DE FUNDICIÓN.

Una amplia variedad de ceras son usadas para obtener un material conveniente para la producción de moldes, cada

uno de los variados ingredientes tienen efectos especiales sobre **las** propiedades del producto final al ser mezclados en ciertas proporciones.

Algunas mezclas típicas de ceras usadas para la fabricación de modelos se pueden observar en la tabla 1.

TABLA I

MEZCLAS TÍPICAS USADAS EN PROCESOS DE MICROFUSION

Mezcla	PF.	RC.	Ct.
30 % parafina 60 C. 30 % ceresina 17 % carnauba 23 % flexoresina	62 C.	2.75	7.30
70 % parafina 60C. 20 % flexorecina 10 % carnauba	59 C.	3.30	6.00
60 % parafina 15 % carnauba 25 % flexorecina-	63 C.	3.30	5.00

Siendo : PF punto de fusión, RC resistencia comparativa, CL contracción Lineal.

Con miras a la selección de la cera más conveniente, un factor debe ser observado muy cuidadosamente, esto es que todas las ceras tienen características de contracción diferentes, y una vez que la cera es seleccionada para realizar la inyección con el fin de satisfacer las características requeridas por el modelo, resulta impráctico cambiar la composición de la cera sin realizar

una modificación del molde o maquinar uno nuevo.

Esto significa que se debe realizar varios experimentos antes de la selección final de la cera o material patrón que se usara para la producción de modelos.

Las ventajas de usar ceras como material principal para la fabricación de modelos son las siguientes :

- 1.- Las ceras tienen bajo punto de fusión, entre **45** y **90** grados centígrados, por lo tanto constituyen un menor riesgo industrial (por ejemplo quemaduras al operario) que los materiales de alto punto de fusión.
- 2.- **Los** modelos de cera pueden ser fácilmente ensamblados y formar un árbol, usando cuchillos calientes, espátulas, etc.
- 3.- Pequeñas picaduras, líneas de flujo, agujeros o defectos similares se reparan con facilidad usando herramientas calientes o materiales de relleno.
- 4.- La cera que fluye fuera del molde puede ser aprovechada aproximadamente en un **60 %** y usado para hacer mazarotas, canales, vaciadores, etc.
- 5.- **Los** moldes para fabricar modelos de cera pueden ser hechos más fácilmente que aquellos para otros materiales como plásticos que requieren moldes pesados de acero debido a las altas presiones de inyección que

deben soportar.

Las desventajas de usar ceras como material patron para la fabricación de modelos son:

- 1.- Los patrones son frd Giles, especialmente en las secciones delgadas y deben ser manipulados con mucho cuidado para evitar astillamientos de los bordes.
- 2.- Los modelos se tornan frágiles si son almacenados por mucho tiempo y se quiebran con la manipulación.
- 3.- Debido al bajo punto de fusión y características de expansión, es imperativo que los modelos de cera sean hechos, ensamblados y almacenados en una habitación con temperatura controlada ( 15-18 grados centigrados), puesto que un notable cambio en la temperatura del aire puede causar dificultades de producción y una alteración en el tamaño dimensional antes que los patrones sean moldeados.

La adopcidn de una nueva cera patrón es usualmente acompañada de una voluminosa producción de desechos, las ceras pueden ser deformadas o incompletas, de acuerdo a como la temperatura de inyección es subida o bajada . Es muy difícil establecer la correcta temperatura de trabajo puesto que en el estado pastoso las propiedades mecánicas y estructurales de los modelos de cera varían irregularmente. Esta variación se puede apreciar en la

sección a-b de la figura 1.

Las dificultades aumentan por el hecho de que la cera misma es altamente heterogénea en composición y estructura puesto que los materiales originales puros como la parafina, ceresina y otros componentes son básicamente mezclas de hidrocarburos no saturados y de sus derivados de composición variable.

Los cambios de temperatura dan origen a sucesivas y continuas transformaciones y las curvas de enfriamiento obtenidas son características e informes que las de los sistemas cristalinos.

No se puede dudar que cuando las ceras son calentadas sobre el punto de fusión, los componentes sufren una más completa mezcla y los residuos pueden ser totalmente removidos de las cavidades del molde, pero el problema de cuál es la óptima temperatura cuando el molde es llenado permanece aún abierto a discusión.

En la figura 1 el punto de inflexión b sobre la curva de enfriamiento define el punto de fusión.

Los puntos de fusión de mezclas de ceras pueden ser calculadas aplicando la "ley de la aditividad de los puntos de fusión" de los componentes iniciales, conociendo sus porcentajes de composición, para ello utilizamos la fórmula siguiente.

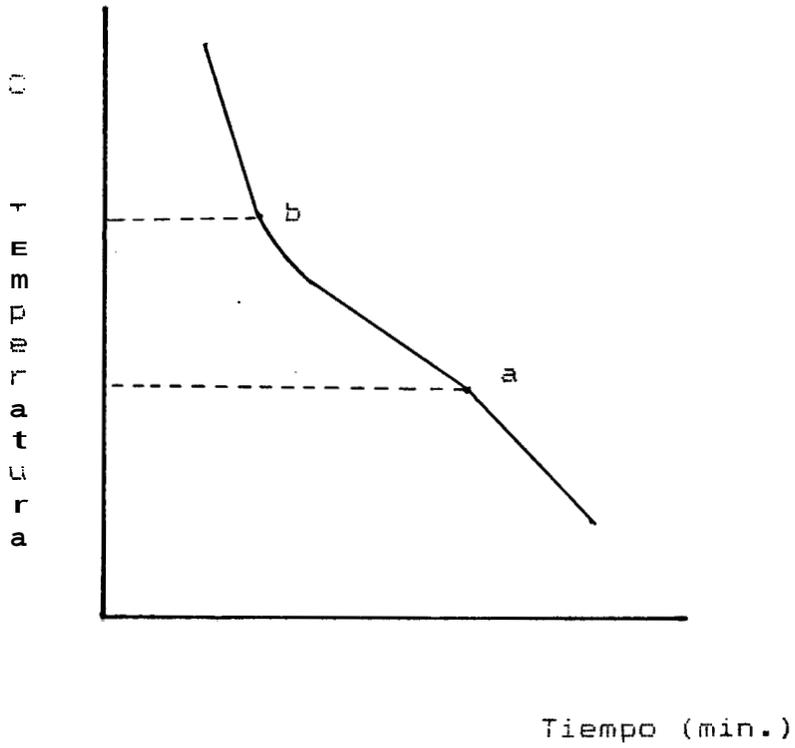


Figura 1: Variación de las propiedades mecánicas y estructurales de los modelos de cera en estado pastoso.

a= Temperatura de endurecimiento  
 b= Punto de fusión

$$T_{a+b+c+\dots} = T_a \times 0.01a + T_b \times 0.01b + T_c \times 0.01c + \dots$$

Donde:  $T_a$        $\square$  Temperatura de la cera **a**

$T_b$       = temperatura de la cera **b**

$T_c$       = temperatura de la cera **c**.

0.01 **a** = porcentaje de cera **a**

0.01 **b** = porcentaje de cera **b**

0.01 **c** = porcentaje de cera **c**

Cuando **se** tiene un ligero incremento en la temperatura de solidificación, se reduce grandemente la viscosidad plástica de la cera, esto se puede apreciar en la **figura 2** (curva **a**), pero más allá de cierta temperatura., el mismo incremento de temperatura tiene un pequeño efecto posterior sobre la viscosidad..

Similarmente un repentino incremento en la movilidad como se aprecia en la figura 2 (curva **b**), ocurre más allá de cierta temperatura.

Consecuentemente hay un rango de temperaturas optimas dentro del intervalo de viscosidad plástica, sobre la cual las curvas de viscosidad plástica y movilidad, en contraste con la temperatura cambian repentinamente la forma de inflexión de la figura.

Esto significa que las temperaturas correspondientes a estas inflexiones arbitrarias son **las** temperaturas

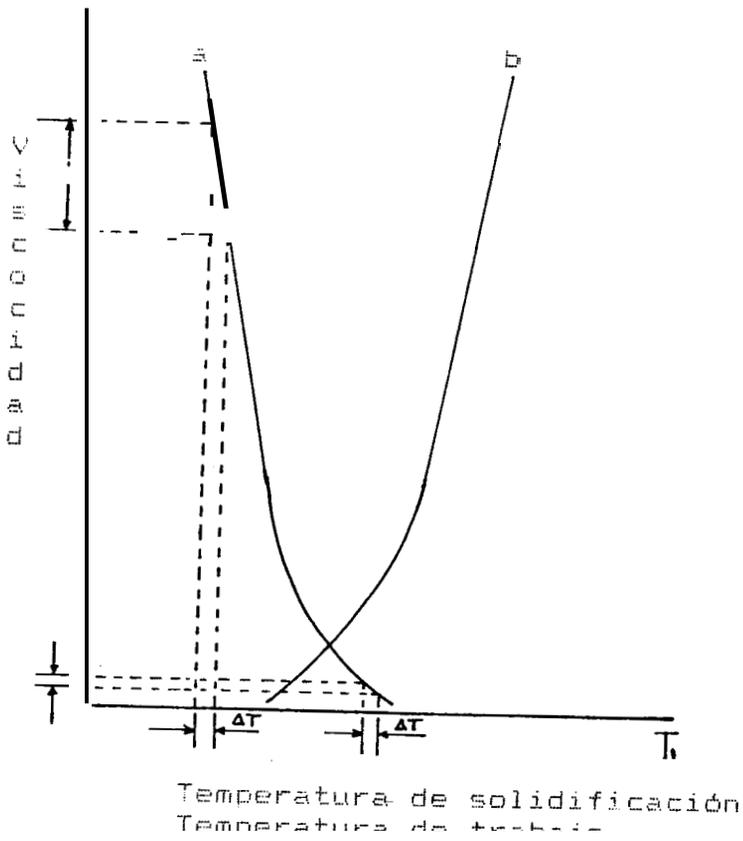


Figura 2: Curvas de viscosidad plástica y movilidad de las ceras.

Curva a = Viscosidad plástica  
Curva b = Movilidad

promedio de trabajo, es decir las temperaturas en las cuales la cera debe ser inyectada en la cavidad del molde.

#### 1.4 PROPIEDADES Y ASPECTOS TECNICOS DE LAS MEZCLAS

Las propiedades Químicas y Físicas de las ceras son conocidas y probadas en la práctica, no así las propiedades mecánicas porque no existe una manera de cuantificarlas. Para probar las características Químicas nos valemos de los valores de PH, del número de saponificación, de la cantidad de cenizas contenido en la cera.

Por otro lado la densidad, el punto de fusión, el punto de solidificación, dan algunos conocimientos acerca de las propiedades físicas de las ceras.

Todas las ceras presentan el fenómeno de contraerse cuando comienzan a solidificarse, en forma general se puede decir que las ceras blandas como la parafina tienen menor contracción que las ceras duras como la carnauba, cera de montana y algunas ceras sintéticas que contienen resinas.

A través de diferentes combinaciones hechas a propósito se tiene menor reducción y por lo tanto se logra mejorar los materiales para la fabricación de modelos.

Un punto de juicio muy importante en la mezcla de ceras es el rango de solidificación, el cual se define como la diferencia entre el punto de fusión y el punto mismo de

solidificación . Para un juicio total a cerca de los materiales para la elaboración de modelos se debe tener en cuenta las siguientes características : Densidad, punto de fusión, punto de solidificación, porcentaje de reducción lineal, dureza, cantidad de cenizas, resistencia al doblado, dilatación, valor de PH .

Entre las propiedades más comunes medibles en los modelos de cera tenemos las siguientes.

- a.- Contenido de cenizas (máximo aceptable 0.05 %)
- b.- Buen Acabado de la superficie
- c.- Resistencia al recubrimiento primario
- d.- Resistencia a la oxidación.
- e.- Viscocidad
- f.- Resistencia a la tensión, impacto y sacudimientos.
- g.- Rango de temperatura de transición de ductil a frágil.
- h.- Rango de temperaturas de solidificación.
- i.- Resistencia a la unión de modelos
- j.- Coeficiente de expansión térmica y contracción
- k.- dureza
- l.- Temperatura de ablandamiento
- m.- Solubilidad de la superficie del modelo con solventes específicos.
- n.- Toxicidad.

Como requisito adicional se debe lograr que los modelos no se peguen al molde y se debe tener en cuenta la capacidad de lograr eliminar cualquier resto de material que haya

quedado en el molde. Se evitará cualquier ataque Químico contra el molde y se tratara de recuperar en lo posible el material usado en el modelo para lograr economía. -

#### 1.5 PROCESOS USADOS PARA EL MOLDEO DE CERAS.

Para la construcción de modelos de cera se procede como se indica a continuación.

1.- Se prepara el primer modelo, normalmente de metal (algunas veces de caucho), teniendo en cuenta la contracción del metal a fundir. En general el primer modelo se lo realiza en latón, bronce o alguna aleación ligera.

2.- Con el primer modelo se construye una coquilla despiezable, sencilla o múltiple, colando sobre el primer modelo un material de bajo punto de fusión, en casos especiales la coquilla puede ser hecha directamente a máquina con fresa y pantógrafo.

3.- Se prepara un segundo modelo inyectando cera líquida en la coquilla anterior, ésta se ha varnizado previamente en su interior con tetracloruro de carbono para facilitar la extracción. Se debe mantener la presión de inyección hasta que la cera solidifique totalmente, en un tiempo aproximado de 2 a 3 minutos.

4.- Se abre la coquilla, se extrae el modelo y se inspecciona.

- 5.- Se sueldan los modelos secundarios sobre un soporte de cera, formando un racimo no muy complicado y fácil de manejar. El número de piezas depende del tamaño, diseño y procedimiento de colado.
- 6.- El racimo se recubre por aspersion o por inmersión en una solución especial de sílice coloidal y después es espolvoreada abundantemente con arena fina de sílice, y se forma el molde.
- 7.- Se permite el secado del racimo recubierto, para que se endurezca.
- 8.- Se calienta moderadamente el molde en un horno, donde se elimina la cera, recuperandola en parte para los moldes sucesivos.
- 9.- Se cuece el molde en un horno a alta temperatura y se obtiene así el molde negativo, de superficie muy lisa que reproduce con exactitud el primer modelo.
- 10.- Se cuele el metal fundido en el molde negativo.
- 11.- Se deja enfriar lentamente las piezas, se quitan los bebederos, se separan las piezas y se rebaban. En caso de ser necesario se procede a ulteriores acabados como rectificadlos y tratamientos térmicos.

#### MATERIALES PARA RECUBRIMIENTO Y SUS CARACTERISTICAS

Las principales características que debe tener un material

para recubrimiento son:

- Suficiente resistencia en estado virgen para su manejo normal.
- Suficiente resistencia despues del quemado
- Suficiente refractariedad
- Ser inerte a la aleación o metal que se va a colar

Los requerimientos básicos para un liquido destinado al recubrimiento son:

- Vehiculo liquido, generalmente agua
- Aglutinante
- Agente que permita que el liquido moje
- Agente desespumante .

Entre los principales aglutinantes para los recubrimientos estdn :

- Silicatos sódicos
- Silicatos potdsicos
- Cementos refractarios
- Soluciones coloidales de silice
- Arcilla esferoidal

Los ingsedientes sólidos mds corrientes empleados en los recubrimientos son:

- Polvos de silice
- Polvos de sircón
- Polvos de sirconio
- Alúminas

- Arcillas (caolin, arcillas esferoidales).
- Polvos de vidrio

#### **METODOS DE RECUBRIMIENTO.**

El recubrimiento del modelo se puede realizar por dos métodos diferentes que son: Por inmersión en sílice coloidal o por aspersion.

Las principales desventajas del método de inmersión son :

- La posibilidad de que queden atrapadas burbujas de aire en el recubrimiento.
- El recubrimiento no tiene un apoyo tan íntimo, afectando el acabado de la superficie de la fundición final.
- El recubrimiento varía considerablemente en espesor de cara a cara sobre el modelo.
- Es necesario un mayor tiempo de secado.

El recubrimiento por aspersion es el preferido y por lo tanto el más utilizado, las principales ventajas de este método son :

- a.- Hay un contacto íntimo entre el recubrimiento y el ensamble, teniendo así una máxima reproductibilidad de la superficie.
- b.- No hay tendencia a que las burbujas de aire queden atrapadas.
- c.- Hay un gran control de medida sobre el espesor del recubrimiento y menor posibilidad de formación de

gotas o hundimientos, la aspersión puede ser realizado sucesivamente con presiones tan bajas como de 10 **PSI.**, aunque estd expuesta a mayor goteo, se obtiene mejores resultados con presiones del orden de las 30 **PSI.** -

Una de las desventajas de este método es la tendencia que tiene el material refractario a fijarse en el conducto de salida de la pistola de aspersión.

El primer recubrimiento consiste de partículas muy finas y por lo tanto una permeabilidad relativamente baja.

#### 1.6 TIPOS DE ENSAMBLE DE MODELOS.

Una vez producidos los modelos, el próximo paso del proceso es el ensamble o agrupación de los modelos para formar el árbol.

El proceso consiste en juntar los modelos a una pieza principal, formando los respectivos alimentadores para la colada metálica, este ensamble es acompañado por el uso de herramientas calientes 'como **son** las espdtulas, herramientas dentales y cuchillos calientes de forma apropiada.

Para soldar los modelos de cera, se calienta el extremo de la herranienta y se coloca entre las superficies a juntar y tan pronto como la cera se funde, se presionan las piezas para unir las, en caso de rebabas en las unión estas pueden ser alisadas con la misma herramienta caliente.

Los modelos también pueden ser soldados con cuchillos calentados eléctricamente, se debe tener mucho cuidado para evitar fundir demasiada cera, con lo que se podría fundir o distorsionar los modelos. Además se debe evitar el goteo de cera sobre los modelos, así como el entallamiento de las piezas unidas para que no se formen muescas agudas.

Como regla general para el ensamble de modelos se permite un espacio de media pulgada entre cada pieza de cera, aunque esta distancia puede ser aumentada o disminuida dependiendo del tamaño y espesor de los modelos.

#### 1.7 PROCESOS DE MOLDEO USADOS PARA EL COLADO.

Siendo el colado del metal una de las fases más delicadas del proceso de fundición de precisión, sobre todo si se trata de piezas de poco espesor, debe escogerse cuidadosamente la temperatura de la colada para asegurar suficiente fluidez del metal fundido.

-

El molde se calienta previamente hasta una temperatura que depende del metal que se va a colar y del tamaño de la pieza.

En consecuencia la solidificación es rápida, con una estructura superficial muy  **fina**, el enfriamiento es lento porque el molde fue calentado y con ello se evitan tensiones internas muy peligrosas que pueden llegar a provocar la rotura de la pieza.

La colada se puede realizar por 3 metodos diferentes que son : Simple gravedad, **Por** presión ( no superior a los 0.25 Kg. sobre centimetro cuadrado) y por Centrifugación.

#### COLADO POR GRABEDAD.

Cuando se usa el metodo de colado por gravedad el punto mas significante es debido a la baja velocidad del metal que tiende a incrementar el tamaño de las guias de alimentación o bebederos. La relación del peso de la fundicidn a las guias de alimentación están a un promedio de 20 a 80 respectivamente.

#### COLADO POR PRESION.

En el colado por presión, la guia principal que actúa como alimentador es usualmente en forma de cono truncado de aproximadamente 2 a 3 pulgadas de diámetro en la base y de 2 pulgadas en la parte superior.

A la guia principal pueden fijarse alimentadores transversales los que pueden ahusarse gradualmente en la sección transversal de la fundición.

El factor de control de tamaño del bebedero empleado depende de la resistencia del modelo, pues Cste último debe soportar el peso del alimentador, la relación del peso de la fundicidn a las guias alimentadoras están en un promedio de **40 a 60** respectivamente.

## COLADO POR CENTRIFUGACION.

Las reglas principales para el colado por centrifugación son las siguientes:

- a.- La guía principal debe tener una saliente razonable (0.25 - 0.50 pulgadas) cerca del vaciadero para evitar el derrame del metal durante la rotación en la operación de fundición.
- b.- Los modelos tienen que ser arreglados de tal forma que el metal pueda llenar fácilmente las cavidades, usualmente estos modelos son fijados con un ángulo de 30 grados.
- c.- las guías fijadas al alimentador central se colocan tangencialmente con el fin de facilitar un camino fácil al metal fundido.

Con el proceso de colado por centrifugación se puede llenar fácilmente un molde con 2000 piezas de 50 gramos cada una.

## CAPITULO II

### 2.0 EXPERIMENTACION DE TECNICAS Y MATERIALES

#### 2.1 METODO DE EXPERIMENTACION

El objetivo principal de este trabajo es realizar experimentos con mezclas de ceras, hasta lograr una mezcla óptima para la fabricación de modelos usados en la fundición de precisidn.

En esta investigación se utilizaran los materiales existentes en el mercado nacional.

Una vez logrado **la** mejor fórmula de ceras se procederá a realizar los modelos y siguiendo los pasos necesarios para el proceso de microfusión, se obtendran los productos finales para realizar un control dimensional de los mismos. Los pasos a seguirse son :

- Construcción del modelo
- Revestimiento del modelo con una cáscara refractaria
- Desencerado y sinterizado del molde
- Colado del metal

- Desmoldeo y control de productos obtenidos

## 2.2 SELECCION DE MATERIALES Y PUESTA A PUNTO DE LA MAQUINA DE INYECCION.

### SELECCION DE MATERIALES.

Los materiales utilizados en esta investigación serán los existentes en el mercado nacional, siendo estos :

- Cera Parafina
- Cera de Carnauba
- Acido Estaérico
- Cera Española usada en joyeria.

Estos materiales serán mezclados en ciertas proporciones en peso como se indica en la literatura de microfusión.

Individualmente con cada cera, así como con cada una de las mezclas de ceras se realizará un cupón de prueba que serdn sometidos a ensayos de contracción lineal y ensayo de corte.

Con el primer ensayo se determina el porcentaje de contracción lineal de las probetas, con el segundo ensayo se determina la resistencia al doblado de cada probeta.

La mezcla de cera que presente las mejores características con los dos ensayos, es decir menor porcentaje de contracción y mejor resistencia a la flexión serd seleccionada para la fabricación de los modelos.

## PUESTA A PUNTO DE LA MAQUINA DE INYECCION.

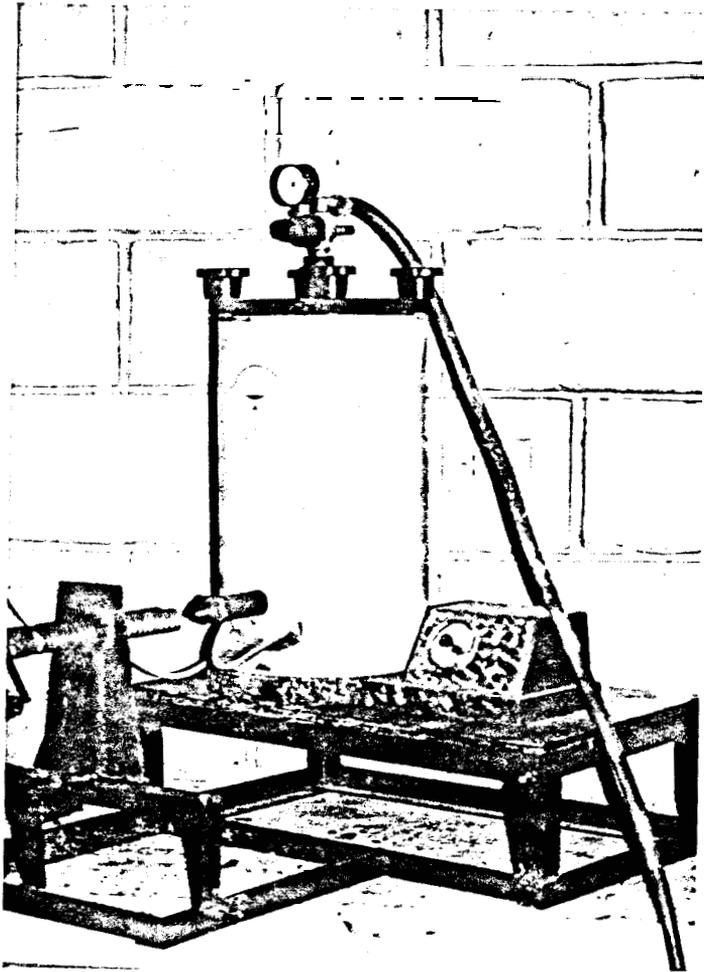
Para obtener las probetas de cera utilizarnos una inyectora de cera, la misma que se puede apreciar en la fotografía número 1.

Esta inyectora utiliza energía eléctrica para fundir la cera y para lograr la inyección en los moldes utiliza aire comprimido .

Debido a que la máquina tiene algunas limitaciones para poder realizar la inyección de la cera con facilidad, se procedió a mejorar el sistema.

Las mejoras realizadas son las siguientes :

- Construcción de una pequeña mesa para montar la máquina y al mismo tiempo un mecanismo que sirve para la sujeción de los moldes donde se inyectara la cera.
- Se construyo un acople para alargar la tobera de descarga debido a que la tobera original es muy corta y no permite el montaje de los moldes .
- Se acoplo una llave de paso del aire comprimido desde el compresor hacia la inyectora para poder controlar la presión de aire a utilizarse .



Fotografia 1.- Máquina inyectora de ceras utilizada para la investigacido.

La presión de aire es indicada por un manómetro que está colocado en la parte superior de la máquina .

Además esta máquina posee un termómetro regulable que sirve para controlar la temperatura .

La tobera de inyección posee en su interior una pequeña válvula la que permanece cerrada bajo la acción de un resorte, cuando la tobera es presionada hacia adentro el resorte se comprime y la válvula se abre permitiendo la salida de la cera ( que se encuentra en estado líquido) hacia el molde matriz para obtener las probetas de ensayo.

Luego de obtenido las probetas, estas se someten a los ensayos de contracción y de flexión.

El ensayo de contracción se realiza midiendo directamente la longitud de la probeta luego de ser sacada del molde matriz, el porcentaje de contracción lineal se lo obtiene por medio de la siguiente fórmula :

$$\% \text{ Contracción} = \frac{\text{Long. molde} - \text{Long. probeta}}{\text{Long. molde}} \times 100$$

El ensayo de flexión se realiza en la máquina universal de ensayos de arenas, la misma que nos indica la resistencia de las probetas. La máquina de ensayos de flexión se puede apreciar en la fotografía número 2.

### 2.3 ESTUDIO DE LOS PARAMETROS DEL PROCESO.

Los principales parámetros que se controlaron en el proceso de moldeo son:

- Porcentaje de componentes de la mezcla
- Temperatura de inyección de la cera
- Presión de inyección de la cera
- Tiempo de desmoldeo
- Porcentaje de contracción lineal de la cera.

Logrando controlar en una forma estrecha todos los parámetros enunciados anteriormente, se pueden obtener los modelos con características aceptables.

Debido a que el equipo utilizado no es muy eficiente el control de los parámetros de inyección no se pudo controlar en una forma precisa, pero de todas formas se logro obtener resultados aceptables para la calificación de las mezclas de ceras.

#### 2.3.1 PORCENTAJE DE COMPONENTES DE LAS MEZCLAS .

Para la elaboración de las probetas de ensayo, en esta investigación se utilizaron los siguientes porcentajes:

- a) 100 % de parafina
- b) 100 % de ácido esteárico
- c) 100 % de cera de carnauba
- d) 100 % de cera utilizada en joyería

- e) Mezcla de 70 % de parafina, 20 % ácido esteárico, 10 % de cera de carnauba.
- f) Mezcal de 60 % de parafina, 25 % ácido esteárico, 15 % de cera de carnauba.
- g) Mezcal de 45 % de parafina, 35 % ácido esteárico, 20 % de cera de carnauba.

Se hicieron probetas con ceras individuales con el fin de observar el comportamiento de cada una de ellas y luego poder comparar el efecto que tienen al ser mezcladas en diferentes porcentajes.

### 2.3.2 TEMPERATURA DE INYECCION DE LAS MEZCLAS.

La temperatura de inyección de la cera se controló dentro de un rango de 10 grados centígrados sobre el punto de fusión realizando inyecciones con diferencia entre 1 y 2 grados centígrados.

Se pudo notar que la temperatura demasiado alta producía líneas de flujo sobre la superficie de los modelos, incrementaba la contracción del material, el tiempo de solidificación y por lo tanto el tiempo de desmoldeo.

Al variar la temperatura de inyección, también variábamos la presión de inyección y por lo tanto la velocidad de llenado del molde.

### 2.3.3 PRESION DE INYECCION.

Las presiones de inyección utilizadas con nuestro equipo son bastante bajas debido a que la probeta de prueba a obtenerse es bastante pequeña y se llena rápidamente.

Las probetas que se inyectaron con una mayor presión luego de ser desmoldadas presentaban menor contracción.

Con el fin de obtener probetas con menor contracción lineal, luego de que el molde era llenado con cierta presión, se procedió a incrementar la presión y mantenerla hasta el momento del desmoldeo.

En algunas probetas se presentó un undimiento en la superficie de los modelos de cera, este fenómeno es por el hecho de que la parte central del modelo solidifica después de la solidificación de las paredes. Para evitar este defecto se utilizó mayor presión de inyección para mantener forzada la cera durante la solidificación.

#### 2.3.4 TIEMPO DE DESMOLDEO.

El tiempo de desmoldeo para cada una de las ceras individuales así como para cada una de las mezclas varía debido al hecho de que cada cera tiene diferente punto de fusión y al mismo tiempo poseen diferente rango de solidificación .

Al incrementar el tiempo de desmoldeo resultaba difícil la extracción de las probetas, debido a que estas se

endurecía más y se fracturaban al momento de desmoldar.

En este trabajo se pudo observar fácilmente que los tiempos de desmoldeo para ceras duras es mucho menor que para las ceras blandas ya que el rango de solidificación de las ceras duras es menor .

#### 2.3.5 PORCENTAJE DE CONTRACCION LINEAL DE LA CERA.

Luego de realizado la inyección de la cera en el molde matriz para obtener las probetas de ensayo, estas fueron sometidas a medición y se pudo determinar que las ceras duras tienen un porcentaje de contracción mayor que las ceras blandas de menor punto de fusión .

La cera que presenta mayor porcentaje de contracción lineal es la cera de carnauba con una contracción lineal promedio de 1.343 %, seguido de la parafina con una contracción lineal de 0.923 % , el ácido esteárico presenta una contracción lineal de 0.609 %.

#### 2.4 ELABORACION DE PROBETAS DE FUSION .

Antes de la elaboración de los modelos para fundición se realizaron varias probetas de ensayo con cada una de las ceras individuales y con cada una de las mezclas de cera.

Para la elaboración de las probetas de ensayo se procedió a la fabricación de un molde metálico, valiendonos de dos placas de aluminio.

El molde para la fabricación de las probetas de ensayo se puede apreciar en la fotografía número 3.

Una de las placas tiene las dimensiones siguientes:

- Longitud = 178 mm.
- Ancho = 50 mm.
- Espesor = 25 mm.

Esta placa se pulio cuidadosamente y se maquino en el centro un canal con las dimensiones siguientes :

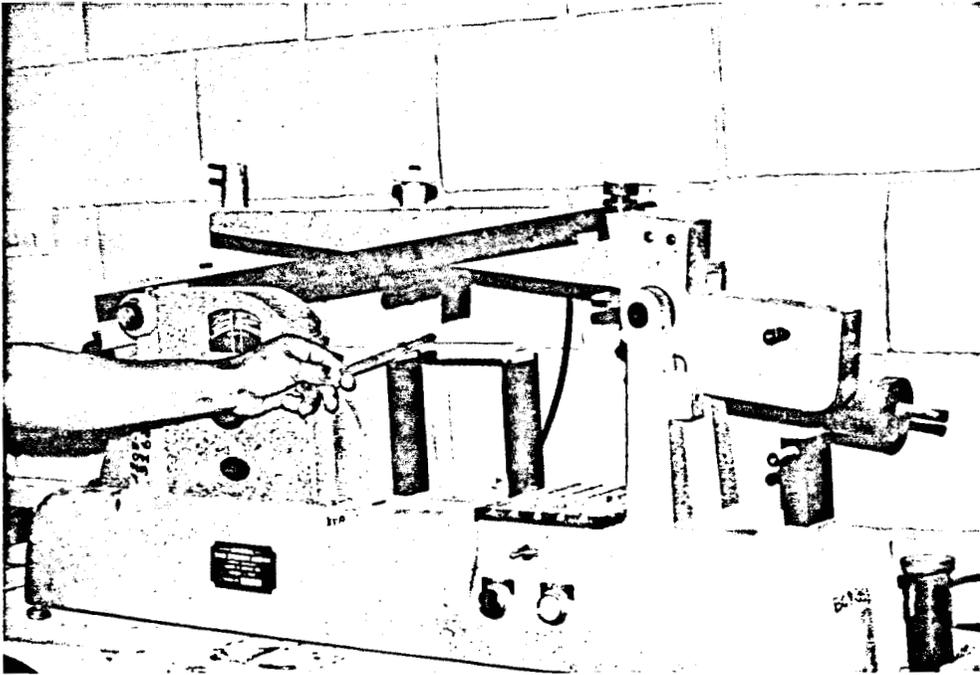
- Longitud = 150.2 mm
- Ancho = 20.2 mm.
- Profundidad = 6.5 mm.

La segunda placa tambien de aluminio tiene las dimensiones siguientes:,

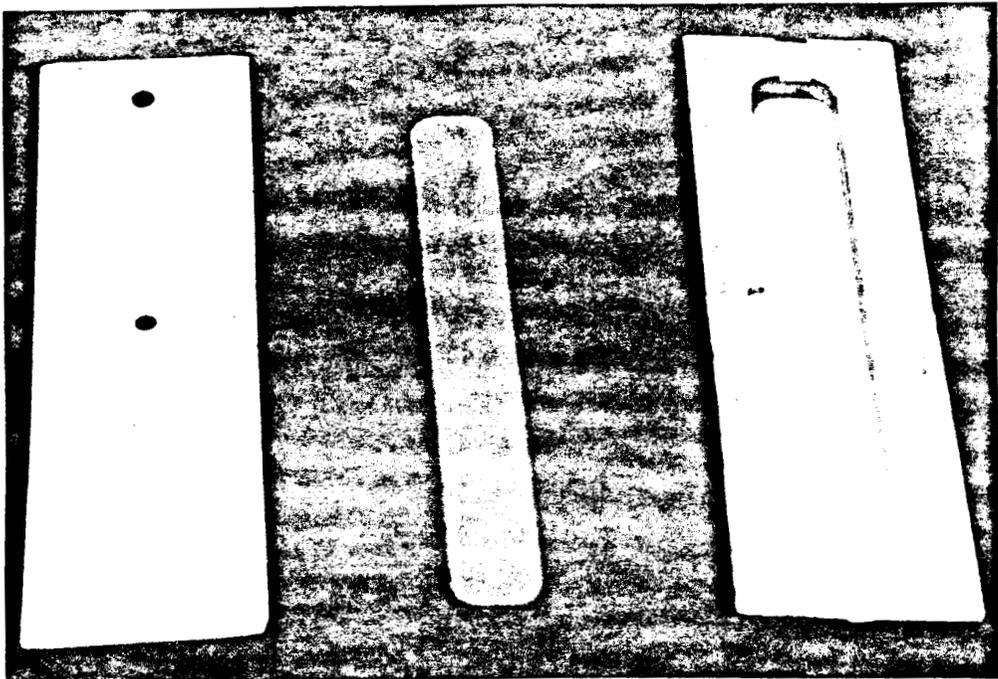
- Longitud = 178.0 mm.
- Ancho = 50.4 mm.
- espesor = 12.7 mm. -

Esta placa despues de un cuidadoso pulido en una de sus caras, se realizó un agujero de 7 mm de diámetro situado en la proximidad del extremo longitudinal de la placa, este agujero sirve para la inycción de la cera.

Para la obtención de la probetas, las dos placas se montan juntas, herméticamente cerradas con **las** caras pulidas en contacto, el montaje se realiza entre la tobera de la máquina inyectora y el perno soporte de la estructura metálica como se puede apreciar en la



Fotografía 2.- Máquina universal de ensayos de arena.



Fotografía 3.- Molde de probetas para ensayo de contracción y flexión.

fotografía número 4.

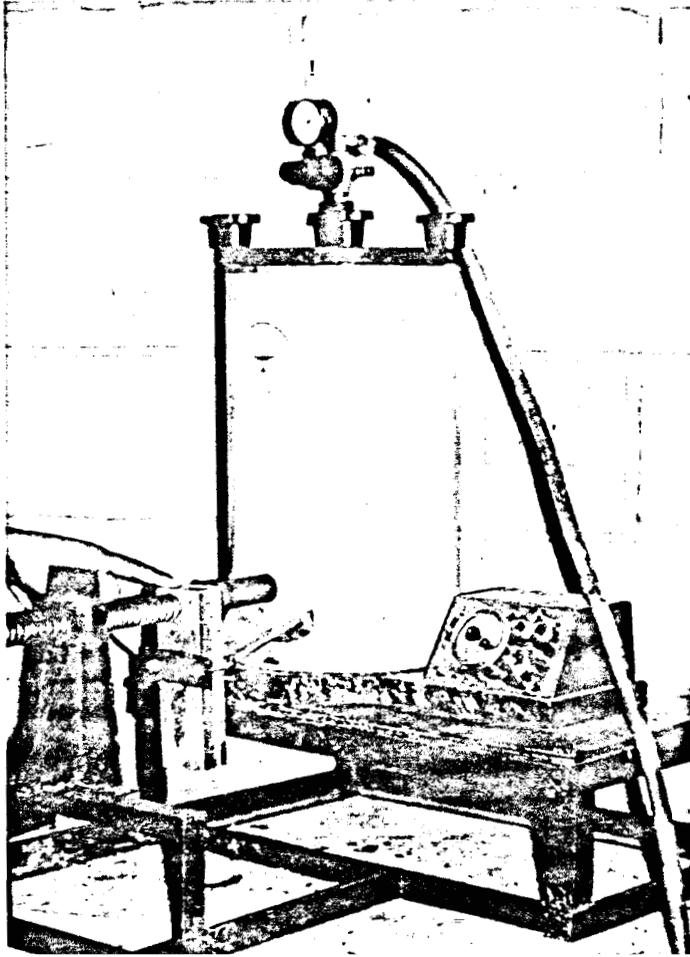
El extremo de la tobera de inyección que es de forma cónica se introduce en el orificio practicado cerca del extremo de la placa que sirve de tapa al molde matriz y cuando la cera se encuentra en estado líquido en el interior de la máquina, valiendonos del perno soporte, presionamos el molde hacia la inyectora y con esto se permite que la válvula en el interior de la tobera se abra dando paso a la cera que se halla sometida a presión de aire proveniente de un compresor.

Cuando el molde se encontraba lleno se mantubo la presión de aire hasta que la cera solidifique en el interior del molde, por un espacio de tiempo de 2 a 3 minutos.

Luego de sacado el molde de la inyectora se dejó enfriar por un período aproximado de 3 a 5 minutos dependiendo del tipo de cera hasta realizar el desmoldeo de la probeta para una posterior verificación de las dimensiones.

Las probetas fueron hechas con las ceras siguientes :

- Cera parafina
- Acido estedrico
- Cera de carnauba
- Cera Española utilizada en joyeria.
- Mezcla de 70 % parafina, 20 % dcido estedrico, 10 % de cera carnauba.



Fotografía 4.- Inyectora de ceras con molde montado, listo para realizar la inyección.

- Mezcla de 60 % parafina, 25 % ácido esteárico, 15 % de cera carnauba.
- Mezcla de 45 % parafina, 35 % ácido esteárico, 20 % de cera carnauba.

Con cada una de las ceras enunciadas arriba se hizo 12 probetas y posteriormente fueron sometidas al ensayo de contracción lineal y flexión.

En las tablas mostradas a continuación se puede apreciar los datos utilizados para la inyección de la cera, para todas las tablas se utiliza las siguientes abreviaturas:

- NP = Número de probeta
- Ti = Temperatura de inyección en grados centígrados
- Pi = Presión de inyección en kilogramos sobre centímetro cuadrado.
- ti = Tiempo de inyección en segundos
- td = Tiempo de desmoldeo en minutos
- Lp = Longitud de probeta
- %Cl = Porcentaje de contracción lineal
- EF = Esfuerzo de flexión ( PSI ) .

TABLA II

PROBETAS OBTENIDAS DE PARAFINA.

NP	Ti	Pi	ti	td
1	77	0.15	30	8
2	76	0.15	30	8
3	75	0.15	30	8
4	75	0.15	30	8
5	74	0.15	30	8
6	73	0.15	30	8
7	73	0.15	30	8
8	71	0.15	30	8
9	70	0.15	30	8
10	70	0.20	30	8
11	69	0.20	30	8
12	67	0.30	30	8

TABLA III

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CONTRACCION Y FLEXION  
REALIZADOS EN PROBETAS DE PARAFINA.

NP	LP	% CL	EF
1	148.95	0.83	5.85
2	148.80	0.93	7.50
3	148.78	0.94	7.70
4	148.95	0.83	6.40
5	149.10	0.73	6.30
6	148.90	0.86	9.40
7	148.80	0.93	8.60
8	148.80	0.93	7.80
9	148.80	0.93	6.00
10	148.65	1.03	6.40
11	148.65	1.03	6.80
12	148.60	1.06	7.00

TABLA IV

PROBETAS OBTENIDAS CON ACIDO ESTEARICO

NP	Ti	Pi	ti	td
1	70	0.20	30	7
2	69	0.20	30	7
3	67	0.50	30	7
4	66	0.50	30	7
5	66	0.50	30	7
6	65	0.55	30	7
7	64	0.55	30	7
8	64	0.60	30	7
9	63	0.60	30	7
10	63	0.60	30	7
11	63	0.70	30	7
12	62	0.75	30	7

TABLA V

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CONTRACCION Y FLEXION  
OBTENIDOS CON PROBETAS DE ACIDO ESTEARICO.

NP	LP	% CL	EF
1	149.0	0.79	7.5
2	149.2	0.66	7.6
3	149.0	0.79	7.5
4	149.2	0.66	7.8
5	148.9	0.86	5.8
6	149.6	0.39	7.3
7	149.2	0.66	7.8
8	149.2	0.66	7.5
9	148.6	1.06	7.5
10	148.3	1.26	7.3
11	148.9	0.86	7.9
12	149.0	0.79	7.0

TABLA VI

PROBETAS OBTENIDAS CON CERA DE CARNAUBA

NP	Ti	Pi	ti	td
1	94	0.60	30	5
2	94	0.65	30	5
3	93	0.70	30	5
4	93	0.75	30	5
5	92	0.75	30	5
6	92	0.75	30	5
7	91	0.75	30	5
8	91	0.75	30	5
9	91	0.75	30	5
10	90	0.75	30	5
11	89	0.75	30	5
12	88	0.75	30	5

TABLA VII

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CONTRACCION Y FLEXION  
OBTENIDOS CON PROBETAS DE CERA CARNAUBA.

NP	LP	% CL	EF
1	148.15	1.36	8.7
2	148.05	1.43	6.4
3	140.10	1.39	7.3
4	148.10	1.39	9.9
5	148.20	1.33	8.6
6	148.30	1.26	9.3
7	148.15	1.36	7.8
8	148.30	1.26	7.9
9	148.30	1.26	8.6
10	148.10	1.39	7.8
11	148.15	1.36	7.6
12	148.20	1.33	8.0

TABLA VIII

PROBETAS OBTENIDAS CON MEZCLA DE CERAS 70 % PARAFINA, 20 %  
ACIDO ESTEARICO, 10 % CERA DE CARNAUBA.

NP	Ti	Pi	ti	td
1	77	0.20	30	7
2	76	0.20	30	7
3	75	0.20	30	7
4	74	0.20	30	7
5	71	0.20	30	7
6	70	0.20	30	7
7	70	0.25	30	7
8	70	0.25	30	7
9	69	0.25	30	7
10	69	0.25	30	7
11	66	0.25	30	7
12	65	0.40	30	7

TABLA IX

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CONTRACCION Y FLEXION  
OBTENIDOS CON LA MEZCLA DE PARAFINA, ACIDO ESTEARICO  
Y CARNAUBA EN PORCENTAJES DE 70-20-10 RESPECTIVAMENTE

NP	LP	% CL	EF
1	149.0	0.79	8.5
2	149.0	0.79	8.0
3	148.7	0.99	6.9
4	149.2	0.66	7.8
5	148.9	0.86	7.7
6	149.0	0.79	7.7
7	148.7	0.99	8.2
8	149.1	0.73	8.6
9	148.6	1.06	7.9
10	149.0	0.79	8.2
11	148.8	0.93	8.5
12	149.4	0.53	7.8

TABLA X

PROBETAS OBTENIDAS CON MEZCLA DE CERAS 60 % PARAFINA, 25 %  
DE ACIDO ESTEARICO, 15 % DE CERA DE CARNAUBA.

NP	Ti	Pi	ti	td
1	80	0.15	30	8
2	80	0.20	30	8
3	79	0.20	30	8
4	78	0.20	30	8
5	77	0.25	30	8
6	76	0.25	30	8
7	75	0.30	30	8
8	74	0.30	30	8
9	74	0.30	30	8
10	72	0.30	30	8
11	70	0.35	30	8
12	70	0.40	30	8

TABLA XI

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CONTRACCION Y FLEXION  
OBTENIDOS CON MEZCLA DE PARAFINA, ACIDO ESTEARICO  
Y CARNAUBA EN PORCENTAJES DE 60-25-15 RESPECTIVAMENTE

NP	LP	% CL	EF
1	149.0	0.79	8.0
2	148.8	0.93	7.0
3	149.3	0.59	8.2
4	148.9	0.86	8.2
5	149.2	0.66	8.0
6	149.1	0.73	8.4
7	148.1	1.39	6.4
8	148.2	1.33	7.6
9	149.1	0.73	8.2
10	149.1	0.73	9.8
11	149.1	0.73	8.2
12	148.9	0.86	8.2

TABLA XII

PROBETAS OBTENIDAS CON MEZCLA DE 45 % PARAFINA, 35 % ACIDO ESTEARICO Y 20 % DE CERA DE CARNAUBA.

NP	Ti	Pi	ti	td
1	84	0.20	30	5
2	82	0.20	30	5
3	80	0.25	30	5
4	78	0.25	30	5
5	76	0.30	30	5
6	74	0.35	30	5
7	72	0.40	30	5
8	70	0.50	30	5
9	68	0.50	30	5
10	66	0.55	30	5
11	65	0.60	30	5
12	62	0.60	30	5

TABLA XIII

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CONTRACCION Y FLEXION OBTENIDOS CON MEZCLA DE PARAFINA, ACIDO ESTEARICO Y CARNAUBA EN PORCENTAJES DE 45-35-20 RESPECTIVAMENTE.

NP	LP	% CL	EF
1	149.6	0.39	8.9
2	149.7	0.33	7.8
3	149.7	0.33	9.3
4	149.5	0.46	9.7
5	149.8	0.26	9.0
6	149.3	0.59	7.9
7	149.3	0.59	7.9
8	149.5	0.46	7.8
9	149.7	0.33	7.6
10	149.5	0.46	6.3
11	148.8	0.93	7.6
12	148.9	0.86	7.1

Todas las probetas fueron sometidas al ensayo de

contracción y flexión.

En la fotografía número 5 se puede observar algunas probetas fabricadas con cada una de las ceras usadas en la investigación, siendo estas:

Probeta 1 fabricada de parafina al 100 %

Probeta 2 fabricada de ácido esteárico al 100 %

Probeta 3 fabricada de cera carnauba al 100 %

Probeta 4 mezcla de cera con 70 % parafina, 20 % ácido esteárico, 10 % de cera carnauba.

Probeta 5 mezcla de cera con 60 % de parafina, 25 % de ácido esteárico y 15 % de cera carnauba.

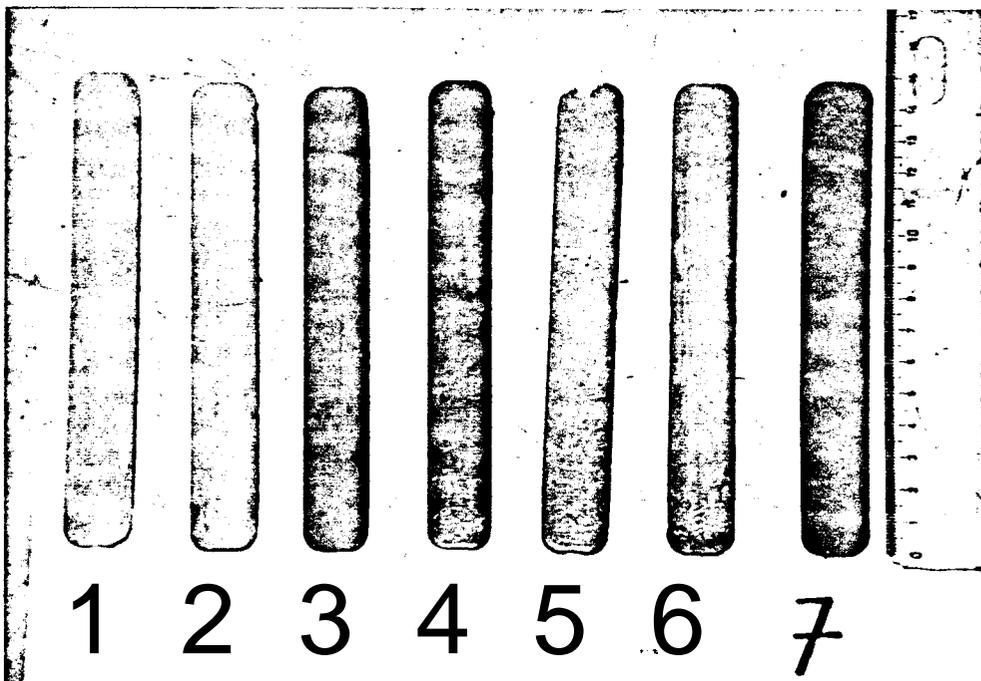
Probeta 6 mezcla de 45 % de parafina, 35 % de ácido esteárico y 20 % de cera carnauba.

Probeta 7 fabricada con cera usada en joyería al 100 %.

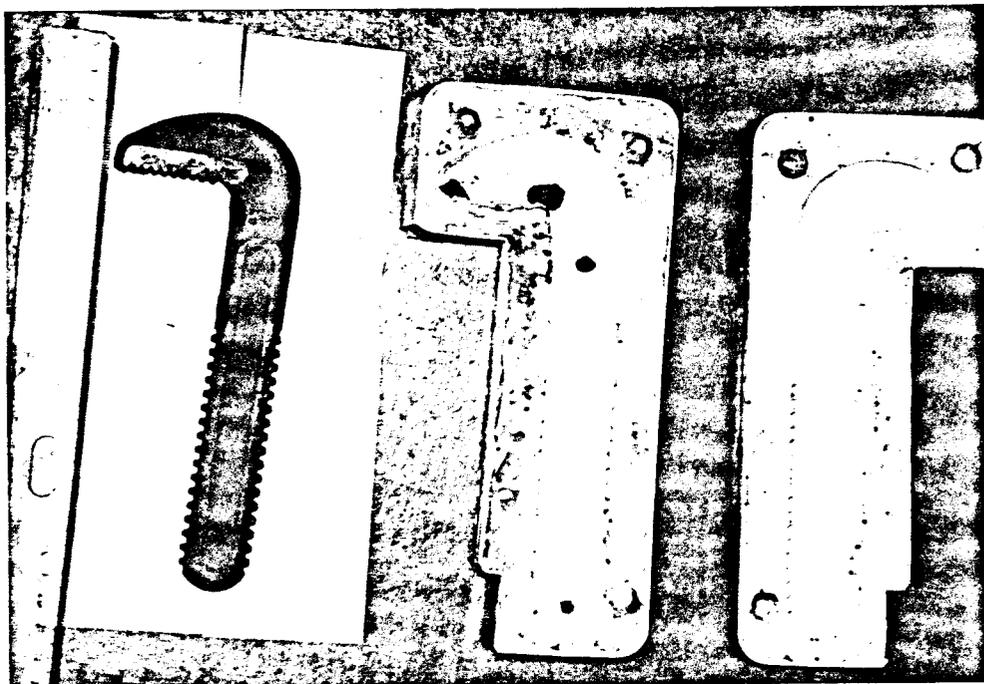
Luego de realizado los ensayos de las probetas se procedió a la selección de la mezcla de cera para fabricar los modelos a ser usado en fundición.

La mezcla que presenta mejores características es la que utiliza 70 % de parafina, 20 % de ácido esteárico y 10 % de cera carnauba, posee una contracción lineal promedio de 0.742 % y una resistencia promedio a la flexión de 7.98 PSI.

La mezcla de 45 % de parafina, 35 % de ácido esteárico y 20 % de carnauba presenta una menor contracción lineal,



Fotografía 5.- Probetas para ensayo de contracción y flexión.



Fotografía 6.- Molde en silicona y modelo de cera para quijada móvil de llaves de tubo.

pero tiene la característica de adherirse a las paredes del molde metálico, lo que no es bueno para efectos del proceso de microfusión.

Con la mezcla de cera seleccionada se procedió a la elaboración de 2 modelos de fundición .

Se hizo un modelo de la quijada móvil para las llaves de tubo y un modelo de hélices para rnotores fuera de borda.

Para la elaboración de estos modelos se fabrico dos moldes en silicona .

Los modelos se obtubieron llenando los moldes de silicona con cera líquida y por simple gravedad.

El molde de silicona y modelo de cera para la quijada movil de la llave de tubos se puede observar en la fotografia número 6.

El molde de silicona para obtener los modelos de hélices se puede apreciar en la fotografia 7, además se muestra una de las piezas fundidas.

## 2.5 ENSAMBLE DE MODELOS, RECUBRIMIENTO Y PRUEBAS DE FUSION .

En la fotografia 8 se puede apreciar el racimo formado por los modelos de la quijada móvil para llaves de tubo.

En el ensamble de los modelos se utilizó un cuchillo caliente para fundir la cera.

El ensamble de los modelos de helices se realizo en forma vertical para facilitar el colado metdlico.

Luego del ensamble de las hélices, se realizó el recubrimiento cerámico del racimo, y finalmente el colado metdlico de bronce.

#### 2.6.- CONTROL DIMENSIONAL DE LOS PRODUCTOS FUNDIDOS.

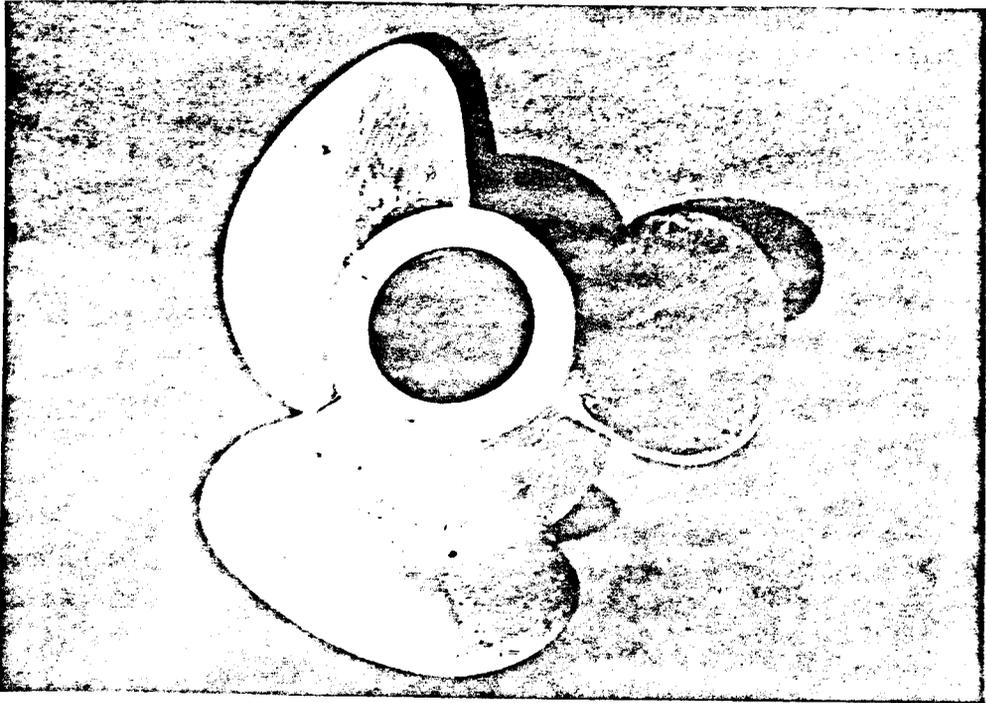
Los productos obtenidos helices, luego de la fundición se analizaron en forma visual, verificando sus dimensiones y acabado superficial.

Las hélices muestran un exelente copiado del original, con un acabado superficial muy bueno, el producto final obtenido se puede ver en la fotografia número 9.

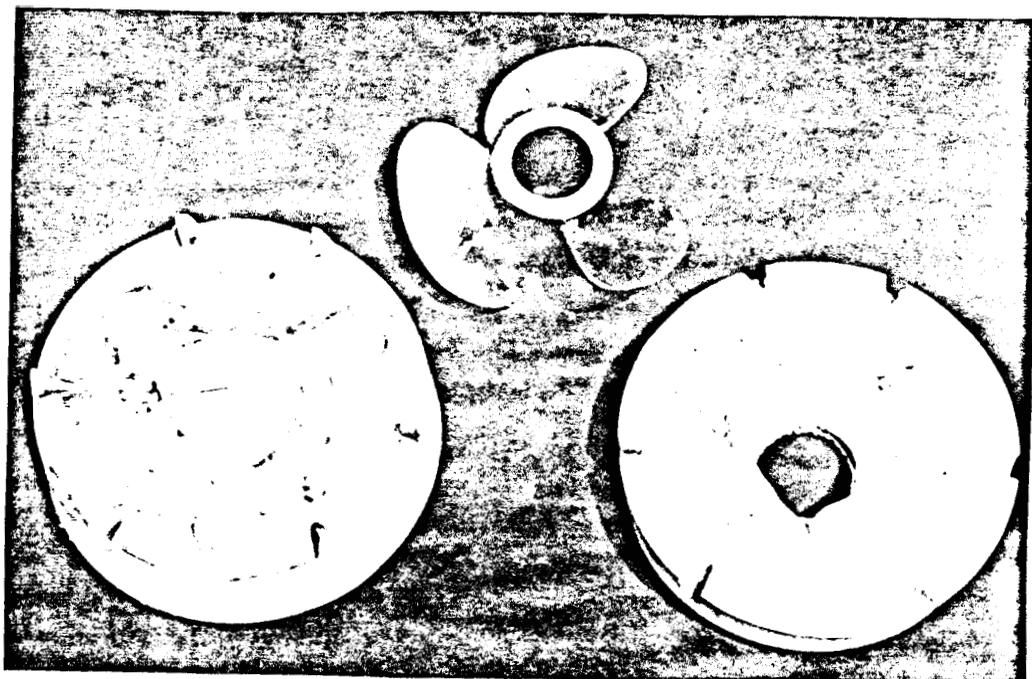
#### 2.7 DISCUSION DE RESULTADOS.

La discusión de este trabajo se orienta a la calificación de las mezclas de ceras utilizadas para la fabricación de modelos a ser usados en fundición de precisión.

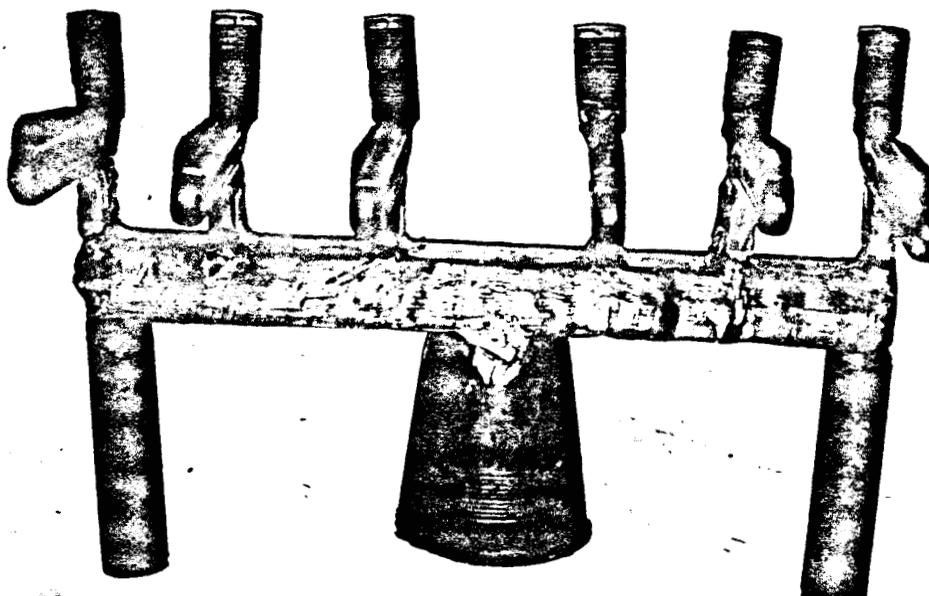
En forma general podemos decir que este trabajo no fué posible caracterizarlo en un 100 % debido a las limitaciones del equipo utilizado, pero los resultados obtenidos son muy alentadores y se observa la posibilidad de utilizar las ceras comerciales existentes en el mercado nacional para la elaboración de los modelos, facilitando asi la aplicación de la microfusión en la Región, elevando



Fotografía 9 .- Producto final obtenido en bronce mediante el proceso de fundición de precisión.



Fotografía 7.- Molde en silicona para modelo de helices y producto final obtenido en bronce.



Fotografía 8.- Modelos ensamblados para la obtención de la quijada móvil de llaves de tubo.

el nivel Tecnológico y creando nuevas fuentes de trabajo en el País.

Luego de haber realizado las pruebas de ensayo a la Flexión y control de contracción lineal en las probetas, se observa que estas cumplen con las características fundamentales requeridas en el proceso de microfusión, esto es baja contracción lineal y buena resistencia al doblado.

La contracción lineal requerida para materiales usados en microfusión varían entre 1.5 y 1.6 % como máximo.

Las temperaturas para ceras usadas en microfusión están en el rango de 65 y 90 grados centígrados.

En esta experimentación se obtubo los resultados siguientes.

Con el equipo de inyección que disponemos no se puede inyectar cera en estado pastoso, sino únicamente en estado líquido.

Los datos obtenidos con ceras individuales son :

La parafina presenta un rango de temperaturas óptimas para la inyección entre los 67 y 77 grados centígrados y presiones que varían entr'e 0.15 y 0.30 kilogramos por centímetro cuadrado respectivamente, se obtubo una contracción lineal promedio de 0.323 % y una resistencia a la flexión promedio de 7.14 PSI

Respecto al ácido esteárico tenemos :

El ácido esteárico tiene un rango de temperaturas de inyección entre los 62 y 70 grados centígrados con presiones de inyección que varían entre 0.20 y 0.75 Kg. por centímetro cuadrado respectivamente .

Con este tipo de cera se logro obtener una contracción lineal promedio de 0.609 % y una resistencia a la flexión 7.44 PSI.

La carnauba presenta un rango de temperaturas óptimas para la inyección entre los 88 y 94 grados centígrados, con presiones de inyección que varían entre los 0.65 y 0.75 Kg. por centímetro cuadrado respectivamente.

Realizando los ensayos de contracción lineal y de resistencia a la flexión se logro los resultados siguientes:

Contracción lineal promedio de 1.343 %, resistencia a la flexión promedio de 8.15 PSI.

Con respecto a las mezclas de ceras tenemos :

Con la mezcla de parafina, ácido esteárico, carnauba en porcentajes de 70-20-10 respectivamente se logro buenos resultados. El rango de temperaturas óptimas de inyección está entre los 65 y 77 grados centígrados, es decir que al

mezclar las ceras se logro ampliar el rango de temperaturas de inyección, las presiones de inyección oscilan entre los 0.20 y 0.40 Kg. por centimetro cuadrado.

Despues de realizado los ensayos de contraccidn y flexión se obtubo una contraccidn lineal promedio de 0,742 % y una resistencia a la flexión de 8.98 PSI. Es decir la contracción lineal es menor que la de las ceras individuales parafina y carnauba, la resistencia a la flexión es mayor que la indicada por parafina, pero menor a de la carnauba.

Comparando con los datos obtenidos con las probetas de ácido esteárico, tenemos una contracción lineal y resistencia a la flexión mayor.

Como resultado final tenemos una mezcla de ceras con muy buenas características para la fabricación de modelos para fundición.

Los resultados de la mezcla de ceras con porcentajes de 60 % de parafina, 25 % de ácido estedrico y 15 % de carnauba son:

El rango de temperaturas óptimas para la inyección está entre los 70 y 80 grados centigrados, con presiones que varian entre los 0.15 y 0.40 Kg. por centimetro cuadrado respectivamente, las superficie que presenta las probetas es uniforme y un acabado superficial muy bueno, el tiempo

de desmoldeo de 8 minutos .

Los datos promedios obtenidos de contracción lineal y resistencia a la flexión son 0.815 % y 9.08 PSI respectivamente.

Estos datos al comparar con los resultados encontrados con las ceras individuales son de menor contracción lineal que la parafina y la carnauba y mayor que la contracción del ácido esteárico.

El resultado promedio del ensayo de flexión resulta ser mayor que el de la parafina y ácido esteárico, pero menor que el de la carnauba. El resultado de mayor resistencia es debido a que el ácido esteárico al ser mezclado con otras ceras tiene la capacidad de aumentar la dureza y resistencia de las mezclas.

Con la mezcla de 45 % parafina, 35 % ácido esteárico y 20 % de carnauba se logro los resultados citados a continuación:

El rango de temperaturas óptimas de inyección es muy amplio entre 62 y 84 grados centígrados, con presiones de inyección que varían entre 0.20 y 0.60 Kg. por centímetro cuadrado.

Los resultados promedios de contracción lineal y ensayo de flexión son 0.493 % y 8.07 PSI respectivamente.

Esta mezcla de cera presenta un tiempo de desmoldeo de 5 minutos, es decir más corto que las otras mezclas, esta característica es debido al mayor porcentaje de cera carnauba contenida en la mezcla.

Las probetas fabricadas con esta mezcla presentan muy buena superficie, pero tienen la desventaja de adherirse a las paredes del molde metálico, dificultando la extracción de la probeta y por lo tanto tiene su limitación para la fabricación de modelos a ser utilizados en fundición.

Finalmente el base a los resultados obtenidos podemos decir que las mezclas experimentadas tienen buenas características para ser usadas como materiales de moldeo a pesar de no utilizarse ningún agente desmoldante, los datos promedios de porcentajes de contracción lineal y resistencia a la flexión son muy satisfactorios.

Analizando desde el punto de vista económico, la mezcla seleccionada resulta ser la más ventajosa puesto **que** utiliza el máximo porcentaje de cera parafina que es de costo mucho menor que las otras ceras.

Con la mezcla de cera seleccionada se elaboro varios modelos de helices y luego del recubrimiento cerámico se procedió a la obtención de las helices en bronce.

Estas helices presentan un excelente acabado y tolerancias dimensionales del orden de décimas de milímetro

( centésimas de pulgada) con respecto a las dimensiones proyectadas.

Las dimensiones proyectadas, las dimensiones del modelo primario asi *como* del producto final son las siguientes.

Dimensiones Proyectada:            L= 48.50 mm  
    D= 38.50 mm  
    e= 2.50 mm

Dimensiones Modelo primario:    L= 49.00 mm  
    D= 39.00 mm  
    e= 2.55 mm

Dimensiones Producto final :    L= 48.20 mm  
    D= 38.20 mm  
    e= 2.30 mm

Siendo:    L= Longitu de cuerpo de hélice  
              D= Diámetro del cuerpo de hélice  
              e= Espesor de la aleta de hélice.

De estos datos se obtienen las siguientes Tolerancias dimensionales :

Tolerancia Longitudinal 0.3 mm ( 0.011 pulg.)

Tolerancia en el diámetro 0.3 mm ( 0.011 pulg.)

Tolerancia en **espesor** 0.2 mm ( 0.0078 pulg.)

En cuanto al acabado superficial podemos decir que **no** se necesita ningun proceso posterfor de maquinado, es decir el producto se puede utilizar directamente luego de la fundicibn.

De todo lo expuesto anteriormente se deduce **que** el procedimiento desarrollado para la calificacibn y

selección de las mezclas de ceras es el adecuado, pero no debe descuidarse y continuar con la investigación para lograr una mayor profundización.

Con los resultados obtenidos vemos que es posible la utilización de ceras existentes en el mercado nacional para la fabricación de modelos para fundición, cumpliendo de esta forma con el objetivo propuesto.

El procedimiento seguido para la calificación y utilización de las mezclas de ceras nos muestra la posibilidad de aplicar esta tecnología con bastante facilidad en la pequeña industria, mediana industria y en la artesanía sin que se requieran grandes inversiones para la aplicación de la tecnología.

## CONCLUSION Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- 1.- En base a los resultados obtenidos, se puede decir que la investigación ha sido un éxito, se logró cumplir con el objetivo propuesto, es decir obtener una mezcla de ceras con las mejores características posibles para la fabricación de modelos a ser usados en microfusión.
- 2.- Se ha demostrado que con los materiales existentes en el mercado Nacional, como la parafina, ácido esteárico y cera de carnauba es factible la elaboración de modelos para la Microfusión sustituyendo de esta forma materiales importados de costo mucho más alto que darían como resultado un encarecimiento del proceso.
- 3.- Comparando los resultados obtenidos entre las mezclas de cera tenemos que la cera con 70% de parafina, 20% de ácido esteárico y 10% de cera de carnauba presenta las mejores características para la elaboración de modelos, tiene gran facilidad de desmoldeo y logra copiar fielmente la forma de la pieza original.
- 4.- Esta mezcla posee las características requeridas para el proceso de microfusión, las temperaturas óptimas

de inyección están en el rango de 65 y 77 grados centígrados, las presiones de inyección varían entre 0.20 y 0.40 Kg/cm<sup>2</sup>, presentan un promedio de contracción lineal de 0.742% y un promedio de resistencia a la flexión de 8.98PSI.

5.- Realizando el control dimensional de los productos finales obtenidos, (helices en bronce) y verificando las tolerancias lineales vemos que estas caen dentro del rango permitido por el proceso de fundición de precisión, esto es en centésimas de pulgada.

6.- El equipo utilizado para investigación es muy confiable, los resultados lo confirman, de esto se deduce que logrando obtener inyectoras de mayor capacidad de presión se puede realizar trabajos a nivel industrial con bastante facilidad.

#### RECOMENDACIONES

1.- Se recomienda el uso de la mezcla de ceras cuya composición es de 70% parafina, 20% de ácido esteárico, y 10% de cera carnauba como el material fusible para la elaboración de modelos para procesos de fundición a la cera perdida.

Por otro analizando desde el punto de vista económico, resulta la más barata por el hecho de utilizar el porcentaje más alto de parafina que es una cera de

costo mucho menor que el ácido esteárico y la carnauba.

2.- Profundizar la investigación utilizando inyectoras de ceras con mayor capacidad de presión y lograr obtener piezas de mayor dimensión y menor contracción lineal.

3.- Tratar de difundir el proceso de microfusión en la artesanía y la pequeña industria con el fin de ayudar al desarrollo del proceso.

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- AMERICAN SOCIETY FOR METALS; METALS HANDBOOK, EIGHTH EDITION, FORMING AND CASTING, 1970, PP 237,240 .
- 2.- J. DOSKAR; J. GABRIEL : GIESSEREIPRAXIS , II WAX PATTERN MATERIALS ; 1965 NUMERO 11; PP 223-226.
- 3.- A.S. LAKEEV; G. P. BORDOU , MELTING POINTS AND WORKING TEMPERATURES OF PATTERN WAXES , (RUSSIAN CASTINGS PRODUCTION) , 1963 ; PP 32-38.
- 4.- D. LUCCHESI, TECNOLOGIA DE LA FUNDICION, ESPAÑA, 1973 PP 32-38.
- 5.- GEORGE L. KLARK, GESSNER G. HAWLEY; ENCICLOPEDIA DE QUIMICA, BARCELONA : OMEGA, 1972, PP 283-287, 562, 988.
- 6.- K.A. KREKELER; MICROFUSION-FUNDICION EN MOLDE PERDIDO 1ra EDICION; BARCELONA: GUSTAVO GIL, 1983, PP 1-7.
- 7.- GUIDO OCHOA, TESIS DE GRADO FAC. DE INGENIERIA MECANICA ESPOL, FUNDICION DE PRECISION ,1977.
- 8.- D. F. B. TEDDS; THE INVESTMENT CASTING PROCESS, PP 394-408.