



FALLA DE ORIGEN  
 UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AUTONOMA DE MEXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
 CUAUTITLAN



45  
 2 Ej

"PROPIEDADES MECANICAS DEL  
 ZINALCO COLADO EN MOLDES  
 DE ARENA"

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
 INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
 P R E S E N T A :  
 GONZALO DANIEL ROMO CHACON

ASESOR: ING. FELIPE DIAZ DEL CASTILLO

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1995



## **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.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES-CUAUTITLAN

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

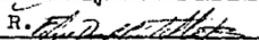
AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el trabajo de tesis: "Propiedades mecánicas del Zinalco colado en moldes de arena"

que presenta el pasante: Gonzalo Daniel Romo Chacón  
con número de cuenta: 8513471-3 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero Mecánico Electricista .

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 3 de abril de 1995

PRESIDENTE	<u>Ing. Soledad Alvarado Martínez</u>	
VOCAL	<u>Ing. Gerardo Sosa</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. Felipe Díaz del Castillo</u>	R. 
1er. SUPLENTE	<u>Ing. Enrique Cortés González</u>	
2do. SUPLENTE	<u>Ing. Jesús García Lira</u>	

***A mis padres, por su valioso apoyo, sin el que no hubiera dado el cauce debido a mi vida y lograr la culminación de mis estudios.***

## INDICE

CONTENIDO	PAGINA
<b>I. INTRODUCCION</b>	1
1. JUSTIFICACION	2
2. OBJETIVO	4
3. DESCRIPCION	4
<b>II. ¿QUE ES EL ZINALCO?</b>	5
1. BREVE HISTORIA DE SU DESARROLLO	5
2. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS	7
3. METALURGIA	8
4. APLICACIONES	11
<b>III. PROCESOS DE MANUFACTURA</b>	12
<b>IV. FUNDICION EN MOLDE DE ARENA</b>	14
1. GENERALIDADES	14
2. FABRICACION DEL MODELO	16
3. FABRICACION DE MOLDES	18
4. COLADA	22
<b>V. PRUEBAS</b>	24
1. OBTENCION DE PROBETAS	24
2. METALOGRAFIA	26
3. PRUEBA DE TENSION	35
4. DUREZA	37
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	38
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	40

# **PROPIEDADES MECANICAS DEL ZINALCO COLADO EN MOLDES DE ARENA**

## **I. INTRODUCCION**

La ciencia de los materiales surgió después de la Segunda Guerra Mundial como respuesta a la necesidad de producir materiales con propiedades específicas que pudieran ser usados en una gran cantidad de aplicaciones, relacionando los arreglos de los átomos de la materia con las propiedades macroscópicas de ésta. El conocimiento resultante se utiliza para satisfacer las necesidades de la sociedad en el campo de los materiales.

Los primeros intentos de modificar científicamente las propiedades de la materia se remontan a principios de este siglo, cuando los conocimientos de cristalografía, estado sólido y física atómica convirtieron el arte de la metalurgia en ciencia.

En México, uno de los objetivos de dicha ciencia fue el desarrollar una aleación capaz de sustituir al aluminio basada en materias primas nacionales. A través de una revisión bibliográfica fue posible determinar que las aleaciones Zn-Al tenían propiedades prometedoras. Estas aleaciones son universalmente conocidas por sus excelentes propiedades como aleaciones para fundición y por sus propiedades superplásticas .

Hace aproximadamente cuarenta y dos años las aleaciones Zn-Al fueron desarrolladas en Alemania para sustituir al bronce, ya que el cobre se había escaseado. Algunas aleaciones conteniendo del 10 al 30 % de aluminio rivalizaron con el bronce al grado de llamarlo bronce blanco. Después de un tiempo varias compañías europeas continuaron el desarrollo de estas aleaciones con excelentes resultados . Otro tipo de aleaciones importantes que han surgido del sistema Zn-Al son las aleaciones superplásticas. La superplasticidad se considera como uno de los

desarrollos más fascinantes logrados en el área de los materiales de los últimos años. Sin embargo hay evidencias que las famosas espadas de Damasco del siglo XI fueron fabricadas con un tipo de acero superplástico, como el desarrollado por O Sherby (1979) en Stanford.

El Zinalco viene a llenar un vacío existente entre los dos materiales con más aplicaciones industriales: el hierro y el aluminio. El Zinalco ha estado sujeto últimamente a un estudio de sus propiedades tanto en la industria como en el laboratorio. Gracias a estas investigaciones se ha formado una imagen real acerca de las propiedades del Zinalco, y se conocen los alcances y limitaciones de esta aleación.

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos mediante el proceso de fundición en moldes de arena y las propiedades mecánicas finales del Zinalco.

## 1.1 JUSTIFICACION

El nombre "Zinalco" es una marca registrada a favor de la UNAM, que cubre una variedad de aleaciones desarrolladas en el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) de la UNAM, basadas en zinc.

Una de las posibles aplicaciones para dicha aleación está en la sustitución de las aleaciones de aluminio en aquellas aplicaciones donde la resistencia a la corrosión es más importante que la ligereza, como el caso de la industria de la construcción, donde el aluminio por su bajo costo de mantenimiento se ha convertido en un material imprescindible, aumentando la dependencia de México con las materias primas extranjeras, ya que en nuestro país no existe la bauxita, que es la materia prima convencional para la producción de aluminio.

Por otra parte, el zinc ha sido hasta ahora un material subutilizado y de bajo precio, del cual México es un productor a nivel mundial (fig. 1.1).

Países	Al	Países	Cu	Países	Zn
Total	100	Total	100	Total	100
E.U.	22.3	E.U.	18	Canadá	15.7
Canadá	8.6	Chile	9.9	Australia	13.5
Australia	6.9	Japón	9.1	URSS	9.5
EFTA	6.7	Canadá	4.7	China	9.5
Brasil	4.9	Alemania F.	4.4	Perú	8.2
Noruega	4.8	Zambia	4.3	E.U.	7.4
Alemania F.	4.1	Bélgica-Luxembur.	3.7	México	4.1
Venezuela	3.0	Australia	2.3		
India	2.3	EFTA	2.1		
España	2.0	Rep. Corea	1.6		
México	0.4	México	1.3		
Resto mundo	34	Resto mundo	38.6	Resto mundo	32.1

*Fig. 1.1. Producción mundial de aluminio, cobre y zinc (participación porcentual del volumen).*

Consciente de este problema, el IIM de la UNAM se ha dedicado al estudio de aleaciones de zinc que puedan tener aplicaciones en estructuras; el resultado de los trabajos fue la aleación denominada Zinalco, que entre otras propiedades tiene la de ser extruida o laminada.

La posibilidad de extruir al Zinalco, en las mismas instalaciones usadas para extruir aluminio y con igual rapidez de producción, dan a esta aleación competitividad con los productos de aluminio; por otro lado, su alta resistencia mecánica semejante a la de los aceros estructurales permite disminuir el problema de peso del Zinalco, cuya densidad está en relación de dos a uno con respecto al aluminio.

Es claro que se corre el peligro de que se agote el zinc, pero para el caso de México es mejor que se agote utilizándolo en el país que vendiéndolo en el extranjero, ya que siempre queda la posibilidad de reciclarlo.

## 1.2 OBJETIVO

Obtener las propiedades mecánicas del Zinalco mediante el método convencional de fundición en moldes de arena.

## 1.3 DESCRIPCION

El Zinalco utilizado para realizar el presente estudio fue suministrado por la Cia. Zinalco Industrial, S.A de C.V.

Para realizar las pruebas de tensión se construyó un modelo de madera de pino del que se obtenían dos probetas.

En cuanto a la medición de la temperatura, por falta de un pirómetro, se empleó un termopar del tipo J (hierro-constantán) recubierto de un material aislante y dentro de un tubo de cobre para evitar las pérdidas de calor.

Después construcción de los moldes de arena mezclando arena de mar con bentonita y carbón mineral como aglutinantes y agua para dar la humedad requerida.

Fundición en un horno de piso a una temperatura de 600°C y uso de degasificador. Vaciado del metal líquido en los moldes de arena y una vez enfriado el material corte de las probetas con una sierra vertical.

A continuación maquinado de las probetas a las dimensiones normalizadas en base a la ASTM B-557M. Al final del maquinado se obtiene una muestra de cada probeta para metalografía.

Posteriormente pulido manual y mecánico de las muestras para su inmediato ataque químico.

La medición de la dureza se practicó en muestras sin ataque químico al igual que la prueba de tensión.

## **II. ¿QUE ES EL ZINALCO?**

El Zinalco es básicamente una aleación eutectoide zinc-aluminio modificado con cobre y con adiciones de magnesio o cadmio, que permiten graduar sus propiedades dependiendo de las aplicaciones a las que se les destine.

### **II.1 BREVE HISTORIA DE SU DESARROLLO**

Los estudios del Zinalco se iniciaron en 1973 en el IIM, con el fin de contribuir al conocimiento del zinc y cobre, materias primas nacionales empleadas en la aleación del Zinalco. Por este tiempo se presentaban señales de debilitamiento en cuanto al uso de estos materiales al ser sustituidos por aluminio y plásticos.

Los estudios se mantuvieron hasta 1979 con fondos del propio IIM para luego recibir recursos provenientes de la OEA para el desarrollo de aleaciones de base zinc que pudieran usarse en vez del aluminio. En 1980 se expusieron los resultados de un

congreso realizado en Estados Unidos de Norteamérica, donde se dedujo que la idea de la nueva aleación (Zn-Al-Cu) era novedosa y no había sido explotada.

Para 1983 se diseñó un material que podía competir con el aluminio, con una relación de peso a resistencia mecánica igual a la de las aleaciones de aluminio de la serie 6,000; su densidad se disminuyó con aluminio y las propiedades mecánicas con la adición de cobre. Se hicieron pruebas de laboratorio y se descubrió que el nuevo material podía usarse en todos los campos en donde se utilizaba el aluminio, sólo quedaba la realización de pruebas a nivel industrial.

En el mismo año durante la apertura del primer Congreso Latinoamericano del Aluminio, el coordinador de la investigación científica de la UNAM anunció la creación de una Dirección General de Desarrollo Tecnológico, cuyo objetivo era servir de vínculo entre la UNAM y la industria.

Con ello se pretendió buscar una empresa nacional interesada en industrializar el Zinalco, que se logró con la firma de la Cía. Falmex en 1984. En esa época el kilo del aluminio costaba el doble que el kilo de zinc, aunque el Zinalco tiene doble densidad y resistencia mecánica.

En el mismo tiempo el precio del aluminio sufrió una disminución, quedando casi a la par con el del zinc, obteniéndose una ventaja del Zinalco frente al aluminio. En 1987 Falmex inició una nueva estrategia de comercialización del Zinalco no vendiéndolo como materia prima, sino intentar con maquinaria propia penetrar al mercado con productos terminados y enfrentar la competencia de los productos ya instituidos.

Actualmente se estableció una compañía con el nombre de Zinalco S.A. que se encargará de crear aplicaciones y clientes para este nuevo material.

## II.2 PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Referente a las propiedades físicas del Zinalco, tiene un intervalo de punto de fusión de 421-481°C, lo que permite inyectarlo en los moldes en un estado cuasilíquido, produciéndose una menor contracción durante la solidificación (fig. 2.1).

El Zinalco funde con el doble de rapidez del aluminio y tres veces más rápido que el bronce; es más ligero que el Zamak en 18%, 30% más ligero que el hierro y 40% más ligero que el latón.

Su coeficiente de expansión térmica es similar al aluminio; su bajo punto de fusión permite considerables ahorros de energía (fig. 2.2)

PROPIEDADES FISICAS	
Temperatura de fusión	421-481°C
Densidad	5.4 g/c.c.
Módulo elástico	110-130 GPa
Conductividad eléctrica	37% del cobre
Conductividad térmica	37% del cobre
Coefficiente de expansión térmica	$25 \times 10^{-6}$ K <sup>-1</sup>
Color	Blanco grisáceo

Fig. 2.1. Tabla de propiedades físicas del Zinalco.

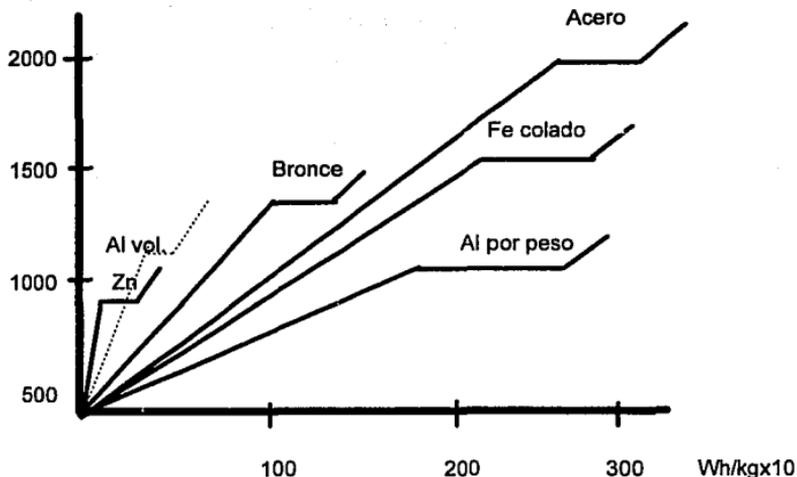


Fig. 2.2. Cantidad de energía usada para fundir 1 kg. de diferentes metales.

### II.3 METALURGIA

La composición química del Zinalco es aproximadamente 76% Zn, 22% Al y el resto de cobre, por lo que el zinc es el solvente y el cobre y el aluminio son el soluto. Tanto el zinc (estructura cristalina HCP) y el aluminio (estructura cristalina FCC) tienen un radio atómico semejante. A continuación se analiza el diagrama de equilibrio Zn-Al.

El diagrama Zn-Al (figura 2.3) es un sistema con un límite de solubilidad en el estado sólido. La solución sólida FCC (Al) se denota como  $\alpha$  o  $\alpha'$  en los lados de aluminio y zinc enriquecido, respectivamente, del límite de solubilidad.

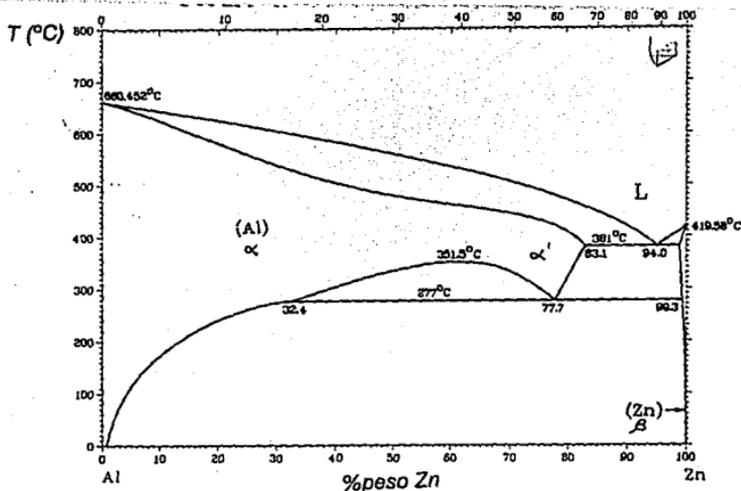


Fig. 2.3. Diagrama de fase de equilibrio para el sistema aluminio-zinc.

El (Al) liquidus y solidus desciende a equilibrio eutéctico con una estructura HCP (Zn) a 381°C, y a 277°C ocurre un equilibrio eutectoide de las fases  $\alpha$ ,  $\alpha'$  y (Zn).

En este diagrama las principales transformaciones en la solidificación son las siguientes reacciones (fig. 2.4):

Reacción	Composición %Zn	Temperatura °C	Tipo de reacción
$L \rightleftharpoons (\alpha \text{ Al}) + (\text{Zn})$	94 83.1 98.5	381	Eutéctica
$(\text{Al}) \rightleftharpoons (\alpha \text{ Al}) + (\text{Zn})$	77.7 32.4 99.3	277	Eutectoide
$(\text{Al}) \rightleftharpoons (\alpha \text{ Al}) + (\alpha' \text{ Al})$	62	351.5	Crítica
$L \rightleftharpoons (\text{Al})$	0	660.452	Congruente
$L \rightleftharpoons (\text{Zn})$	100	419.58	Congruente

Fig. 2.4. Tabla de las reacciones producidas en el diagrama de equilibrio Zn-Al.

Durante la solidificación ocurren grandes cambios en la composición del sólido sobre estrechos rangos de temperatura. La solubilidad de zinc en  $\alpha$  aumenta de 4% Zn a 100°C a 32.4% Zn a la temperatura eutéctica. Arriba de 277°C, la solubilidad aumenta de 77.7% Zn a 277°C a 83.1% Zn a la temperatura eutéctica.

La máxima solubilidad de aluminio en (Zn) es 1.5% Al a la temperatura eutéctica, decreciendo a 0.7% Al a 277°C.

La solución sólida supersaturada FCC puede retenerse a temperaturas abajo del solvus en equilibrio. La descomposición de la solución sólida origina una serie de estructuras metaestables (compuestas de granos heterogéneos o aglomerados), tales como: zonas GP (Guinier- Preston) esféricas y elipsoidales; precipitados de estructura romboédrica, la cual toma la forma de plaquetas coherentes con la matriz FCC, y una incoherente fase  $\alpha'$ .

La secuencia de estructuras observadas durante el envejecimiento depende de la temperatura de homogeneización, el contenido de zinc y el procedimiento de temple.

A temperaturas arriba de 150°C el precipitado coherente crece rápidamente, con una estructura cristalina romboédrica. La formación de plaquetas romboédricas se determina por el solvus coherente y es independiente del tamaño de grano. Estas plaquetas coherentes podrían identificarse con la solución sólida FCC. El punto crítico del límite de solubilidad coherente es 40% at Zn a 324°C.

Durante el enfriamiento rápido desde el estado líquido, las aleaciones de Zn-Al no forman fases simples de soluciones sólidas FCC más allá de la máxima solubilidad de equilibrio de zinc en aluminio. Sin embargo, la solubilidad de aluminio en zinc puede extenderse por solidificación rápida.

## II.4 APLICACIONES

Las características y propiedades del Zinalco lo hacen apto para la fabricación de una amplia gama de productos mediante procesos convencionales de transformación. Dada su alta resistencia mecánica sus posibilidades de aplicación son muy importantes sobre todo en la sustitución de latones, bronce y duraluminios.

La aplicación en la producción de perfiles extruidos con geometrías simples ha sido comprobado. Se han realizado aplicaciones en el metro de la ciudad de México para barandales de seguridad de una de las líneas. Otras aplicaciones se mencionan:

- Arquitectura: perfiles extruidos.
- Autopartes: engranes, carburadores, bombas, partes para transmisión, rines.
- Cerrajería: llaves extruidas e inyectadas.
- Construcción: intersecciones de estructuras tridimensionales, techos de lámina.
- Control de fluidos: válvulas, filtros, reguladores.
- Instalaciones eléctricas: condulets, cajas, soportería de cable.
- Transporte colectivo: puntera negativa, bielias, portazapatas, Zinaport I y II.
- Zinalco artístico y decorativo.

En el futuro, el terreno más prometedor es la superplasticidad, donde se han encontrado gran cantidad de aplicaciones, ya que sus propiedades permiten que a determinadas temperaturas se comporte con una gran plasticidad, pero al mismo tiempo con una gran resistencia, tales como la necesaria para fabricar la carrocería de automóviles.

Para la industria metalmeccánica el conformado superplástico promete ser una revolución. Actualmente se ha aplicado con éxito para la fabricación de puertas y diversas partes de aviones supersónicos de guerra.

### III. PROCESOS DE MANUFACTURA

A continuación se mencionan los procesos mediante los cuales puede ser procesado el Zinalco.

- *Fundición.* Usando los procesos por molde de arena, molde permanente, por gravedad o por inyección a baja presión, sustituye al hierro gris, aluminio, bronce y latón.

- *Inyección.* El Zinalco es el único material en el mercado que contando con una resistencia similar a la del acero, se puede inyectar, permitiendo de esta manera la fabricación de piezas elaboradas en otros materiales y eliminando pasos de transformación y ensamble.

- *Extrusión.* La extrusión del Zinalco no requiere de instalaciones especiales, pudiéndose emplear los mismos equipos usados para extruir el aluminio. Su resistencia a la deformación otorga una excelente estabilidad y rigidez en cualquier configuración arquitectónica o estructural. Las barras y soleras constituyen un material inmejorable por su excelente maquinabilidad.

- *Laminación.* La principal cualidad que presenta la lámina de Zinalco es su resistencia a la corrosión, así como la posibilidad de deformarse utilizando la propiedad de ser superplástico.

- **Acabados.** En cuanto a acabados superficiales, el Zinalco se puede pintar, cobrizar, niquelar, cromar, anodizar y pavonar.

## IV. FUNDICION EN MOLDE DE ARENA

### IV.1 GENERALIDADES

La fundición se refiere a la obtención de piezas fundidas dentro de moldes de arena. Parte del presente trabajo consistió en fundir el Zinalco, por lo que es necesario definir ciertas características del equipo y material empleados.

Un elemento clave para la colada y moldeado de cualquier objeto es la construcción del molde. Los moldes se construyen de arena, la cual se define como granos sueltos de materia mineral. La mayoría de las arenas para fundición se componen de sílice y otros minerales. La desventaja más grande de la colada en arena es el acabado un tanto basto de la superficie y la falta de exactitud dimensional. Los procesos de colada dependen del material del molde, el cual se puede hacer con arena y se destruye después de sacar el objeto.

Los modelos y los moldes deben de hacerse más grandes a fin de que el objeto se contraiga al tamaño deseado cuando solidifica. Los principales componentes de un molde y su función son (fig. 4.1):

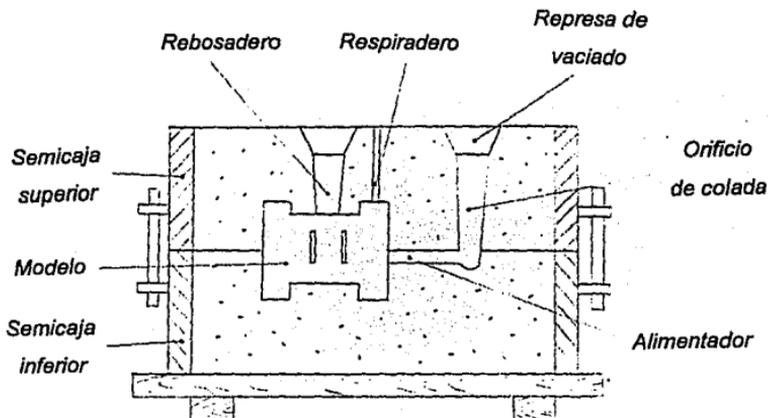
a) *Respiradero*. Es un orificio delgado que sirve para que no se quede aire atrapado al vaciarse el metal y salgan los gases.

b) *Rebosadero*. Sirve para evitar que queden huecos por falta de metal al solidificarse la pieza y actúa como una reserva de metal caliente compensando la contracción.

c) *Represa de vaciado*. Es el lugar que recibe el chorro de metal y sirve como embudo.

d) *Orificio de colada*. Es el conducto vertical que lleva el metal al nivel de la cavidad del molde.

e) *Alimentador*. Es el conducto que une el orificio de colada con la cavidad del molde. Se hace en la semicaja inferior y lleva trampas de escoria.



*Fig. 4.1. Corte de un molde mostrando sus principales componentes, incluyendo el modelo.*

Una limitación física del molde es su resistencia, por lo que la arena se mezcla con aglutinantes como la bentonita y el carbón mineral para darle esa cualidad.

La arena se debe mezclar de modo que no contenga mucha agua, ya que se pueden ocasionar problemas cuando el metal caliente toque la arena húmeda y produzca vapor, ocasionando defectos en la fundición.

## IV.2 FABRICACION DEL MODELO

Fue necesario obtener un modelo para obtener las probetas que fueron sometidas a la prueba de tensión. Un modelo es un objeto que se elabora para producir una réplica de la pieza que se desea.

El modelo construido fue hecho de madera de pino de dos piezas unidas con pernos de centrado. Con él se obtenían dos probetas cilíndricas de una pulgada de diámetro y seis pulgadas un cuarto de largo. Las dimensiones del modelo se dan a continuación (fig. 4.2).

Dado que el material se contrae durante la solidificación y enfriamiento, se tuvo en cuenta la contracción, que era aproximadamente 0.2 mm/cm.

Las esquinas del modelo se redondearon para que no se rompieran con facilidad y dar un mejor acabado. También se consideró el ángulo de salida para facilitar la extracción del molde.

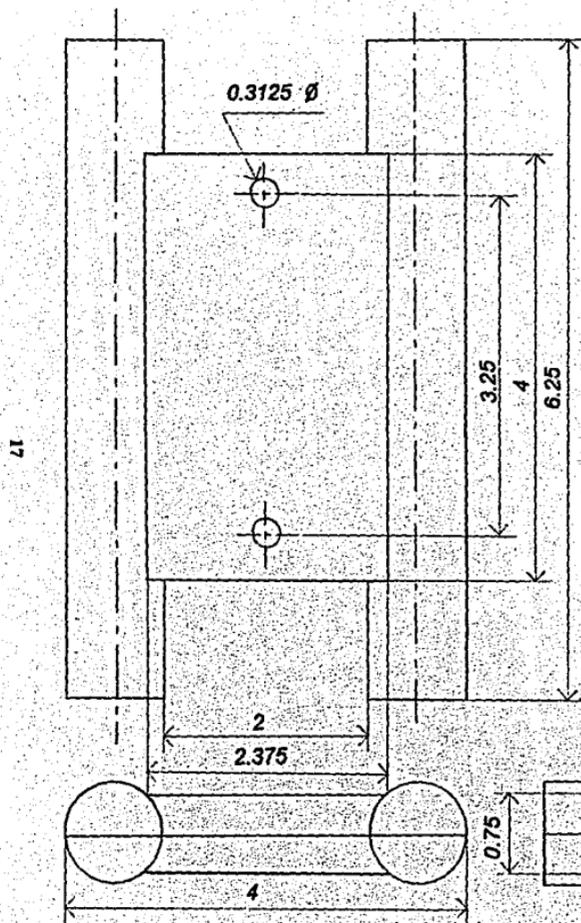
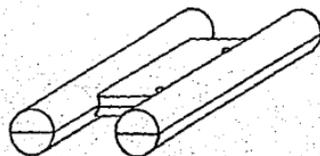


Fig. 4.2. Modelo para obtener  
probetas para la  
prueba de tensión.

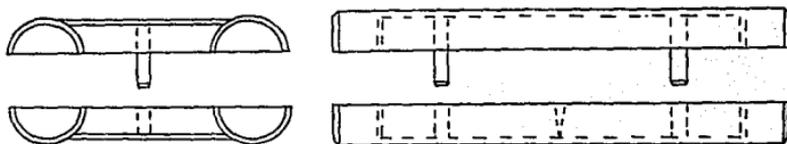


Esc: 1:1.25

Acot: pulg.

Mat: Madera

Cabe mencionar que se usaron dos pernos de centrado que se hicieron fijos en la mitad superior, y en la mitad inferior se hizo un barreno en el centro del modelo para introducir una armella y extraerla del molde (fig. 4.3).



*Fig. 4.3. Vistas de frente y lateral del modelo, en donde se aprecian los pernos de centrado en la mitad superior y el orificio para la armella en la mitad inferior.*

#### IV.3 FABRICACION DE MOLDES

Una vez que se hizo el modelo, el siguiente paso es la construcción de los moldes de arena. El molde es una cavidad donde se vierte el metal fundido para adquirir la forma del modelo. Como el propósito era obtener doce probetas, y de cada molde se sacan dos probetas, se fabricaron seis moldes.

Para la preparación de la arena para moldeo se mezcló arena de mar con bentonita y carbón mineral como aglutinantes. En seguida se describe el procedimiento empleado para hacer los moldes de arena.

El molde se construye en un recipiente llamado caja. La caja tiene semicaja inferior y semicaja superior (fig. 4.4). Se coloca una tabla en el suelo y sobre ella la semicaja inferior y la mitad inferior del modelo, dejando espacio para canales y rebosaderos, espolvoreando con talco el modelo para evitar que se pegue la arena

(fig. 4.5). Después se vierte el arena hacia el modelo con un tamiz cernedor hasta que se cubra el modelo; el resto de la semicaja se cubre con arena y se apisona para dejarla sólida y con la suficiente resistencia y rigidez (fig. 4.6). Luego se nivela la altura del arena con un rasador que se mueve a través de las orillas de la semicaja (fig. 4.7). Después se coloca una tabla encima de la arena enrasada y se invierte el molde para construir la semicaja superior (fig. 4.8). Se posiciona la semicaja superior sobre la inferior por medio de los pernos guía, y se une la parte superior del modelo con la inferior, haciendo coincidir los pernos de centrado (fig. 4.9). Se colocan las estacas para el orificio de colada y rebosadero hechos de madera de forma cónica (fig. 4.10). Se vierte arena con un tamiz cernedor hasta cubrir el modelo y encima se hecha el resto de arena para luego apisonarla y alisarla (fig. 4.11). Después se perforan los respiraderos con una varilla y se procede a sacar el modelo, separando con cuidado la semicaja superior y extrayendo el modelo y las estacas (fig. 4.12). Se hacen los alimentadores en la semicaja inferior y se da la forma de embudo a la parte superior del orificio de colada; se hace una inspección final y se quita del molde cualquier partícula suelta de arena (fig. 4.13). Finalmente se coloca la semicaja superior sobre la inferior y el molde está listo para la colada (fig. 4.14).

Es oportuno mencionar que no se hicieron los seis moldes al mismo tiempo, sino que se construyeron moldes en tres ocasiones. La primera vez se hicieron dos moldes, la segunda vez se hizo un molde y la tercera se hicieron tres moldes.

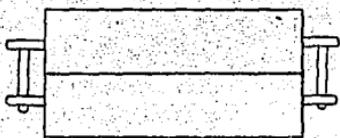


Fig. 4.4.



Fig. 4.5.

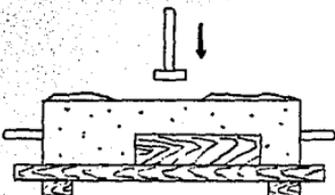


Fig. 4.6.

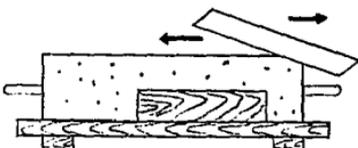


Fig. 4.7.

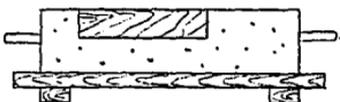


Fig. 4.8.

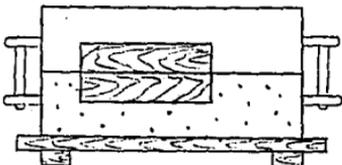


Fig. 4.9.

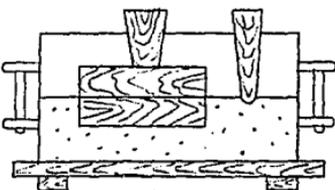


Fig. 4.10.

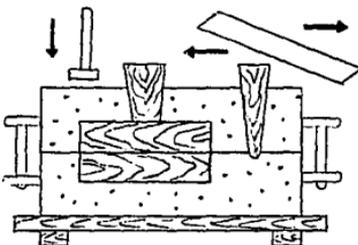


Fig. 4.11.

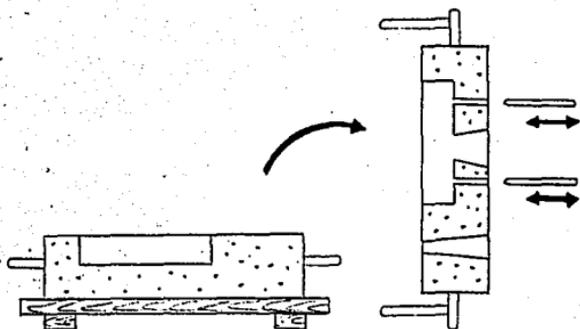


Fig. 4.12.

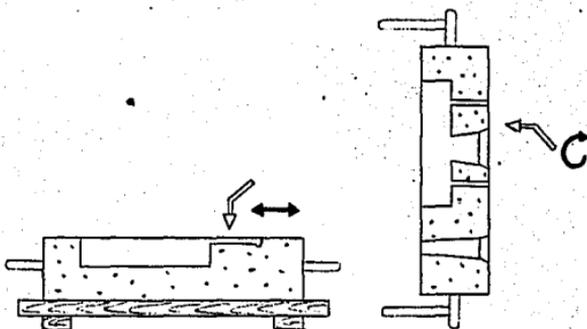


Fig. 4.13.

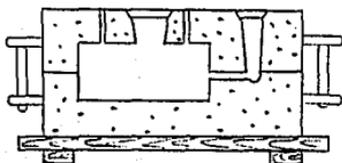


Fig. 4.14.

#### IV.4 COLADA

La colada o vaciado es el proceso que da forma a un objeto al hacer entrar el metal líquido en una cavidad formada llamada molde y dejar que se solidifique el líquido.

Antes de proceder a la colada fue necesario fundir el Zinalco utilizando un horno de piso, y para llevar el control de la temperatura se empleó un termopar del tipo "J" de material hierro-constantán, que se introdujo en un tubo de cobre y se relleno con un material aislante para reducir las pérdidas de calor (fig. 4.15).

Se consultaron las gráficas fem-temperatura para materiales de termopares (fig. 4.16) y auxiliado de un multímetro con la escala en mV que se conectó al termopar.

Es prudente mencionar el procedimiento empleado para la colada. Se depositó el Zinalco dentro del crisol del horno y regulación de la flama.

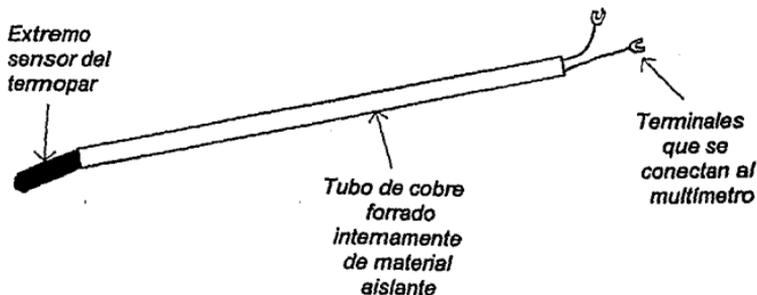


Fig. 4.15. Termopar usado para sensar la temperatura del caldo de fundición.

Transcurrido un tiempo se apaga el horno, se mide la temperatura del caldo de fundición introduciendo el extremo del termopar dentro del caldo. Como el punto de

fusión del Zinalco está entre 421-481°C, el rango de temperatura elegido fue entre 550-800°C para asegurar el estado líquido, ya que el Zinalco puede fundirse sin exceder los 600°C sin temor de cambiar su composición química.

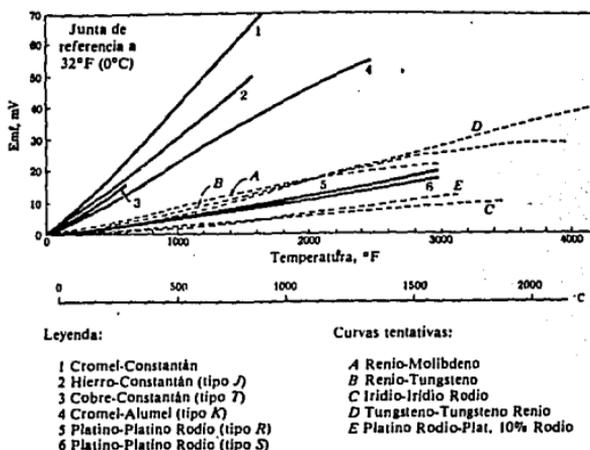


Fig. 4.16. Relaciones fem-temperatura para materiales de termopares, incluyendo la fem térmica en milivolts absolutos.

La medida equivalente en mV para ese rango fue 30-33 mV. Una vez obtenida la temperatura se agregó un desgasificador al caldo, con lo que hubo un ligero aumento de la temperatura por la reacción química del caldo, que duró un minuto. Se quitó la escoria y se procedió al vaciado, el cual se hizo de forma lenta para evitar el flujo turbulento y el desprendimiento de arena.

El rebosadero era un aviso del total llenado del molde, y se pasaba al vaciado del siguiente molde.

Una vez enfriados los moldes se destruyen para sacar la pieza fundida. Esa misma arena se vuelve a reutilizar.

Se cortan las piezas cilíndricas del conjunto para su posterior maquinado y el material sobrante se vuelve a fundir.

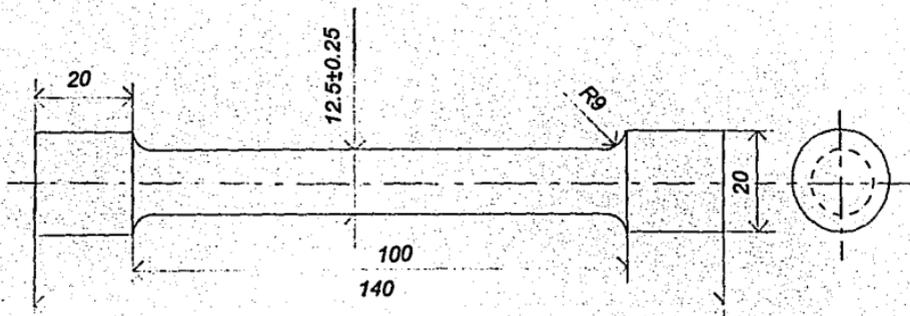
## **V. PRUEBAS**

### **V.1 OBTENCION DE PROBETAS**

Después que se cortaron las piezas cilíndricas del conjunto, se procedió a maquinaslas para efectuar la prueba de tensión, empleando la designación B-557M de la ASTM (American Society for Testing Materials) para probetas de sección redonda.

A las probetas obtenidas por maquinado se les cortó una rodaja para usarla como muestra en metalografía.

Enseguida se dan las dimensiones de las probetas normalizadas (fig. 5.1).



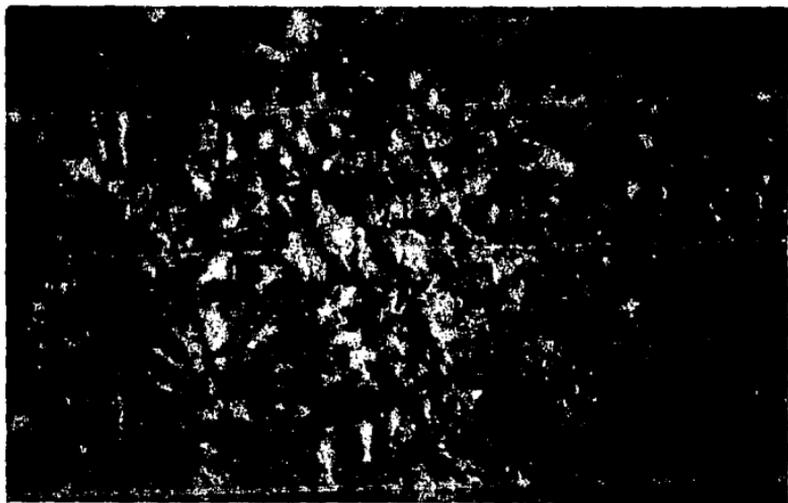
**Fig. 5.1. Probeta normalizada para pruebas de tensión.**

**Esc: 1:1**  
**Acot: mm.**  
**Mat: Zinalco**

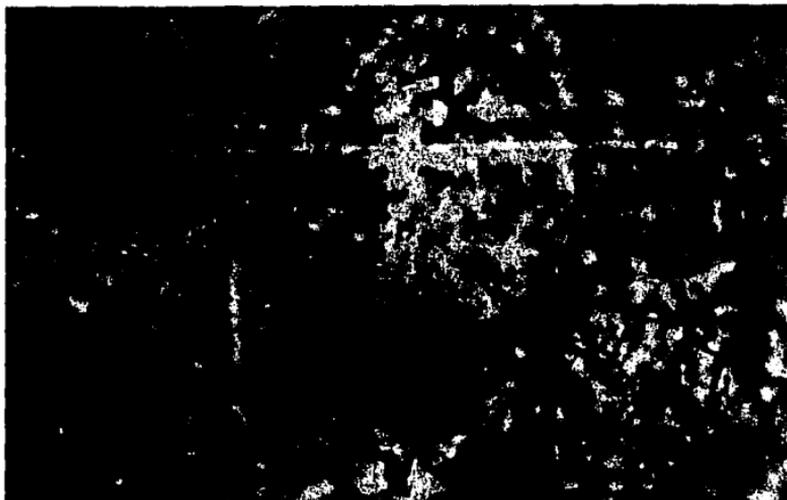
## V.2 METALOGRAFIA

La preparación de las superficies metálicas de las muestras se realizó de la siguiente forma: pulido manual con lijas de agua de número 220,400 y 600 respectivamente; pulido mecánico empleando alúmina de alta y baja concentración; ataque químico con una solución de 200 g de  $\text{CrO}_3$  + 15 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  en un litro de agua, enjuague en una solución de 200 g de  $\text{CrO}_3$  en un litro de agua, lavado en chorro de agua, inmersión en alcohol y secado con aire. La microscopía óptica se realizó a 150 y 600 aumentos.

Se observan dendritas equiaxiales y los espacios interdendríticos (fig. 5.2). También se observan poros de forma irregular apareciendo muy dispersos dentro del material (fig. 5.3).



*Fig. 5.2. Aspectos de las dendritas equiaxiales. Colada I. 150X.*



*Fig. 5.3. Aspecto de las porosidades internas. Colada III. 150X.*

Las regiones claras pertenecen a la fase zinc y las regiones oscuras son fase aluminio. En el interior de las dendritas están separadas las fases de aluminio y zinc debido a que no hubo una completa homogeneización del líquido (fig. 5.4).

En la región interdendrítica se aprecia una estructura laminar formada por laminillas de zinc y de aluminio (fig. 5.5).

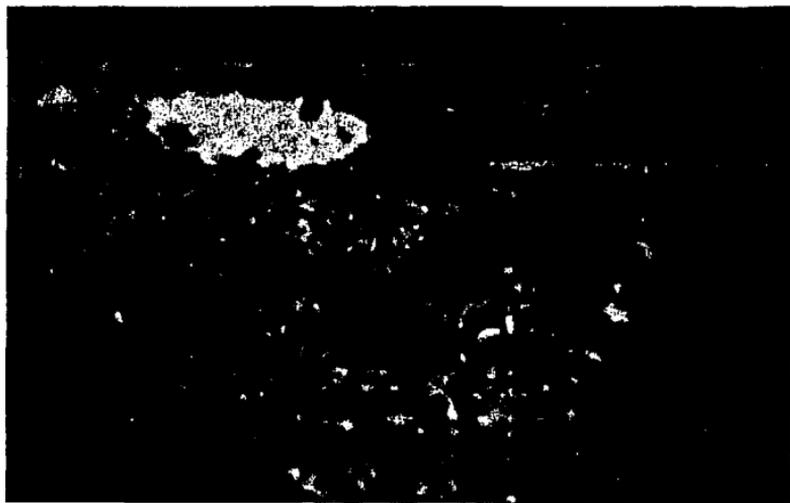
Las dendritas tienen una microestructura interna mucho más fina que en la región interdendrítica. Se aprecian unas zonas claras por efecto de la segregación debido al enfriamiento rápido (fig. 5.6).



*Fig. 5.4. Región dendrítica donde se aprecian zonas claras y oscuras por falta de homogeneización. Colada III. 600X.*



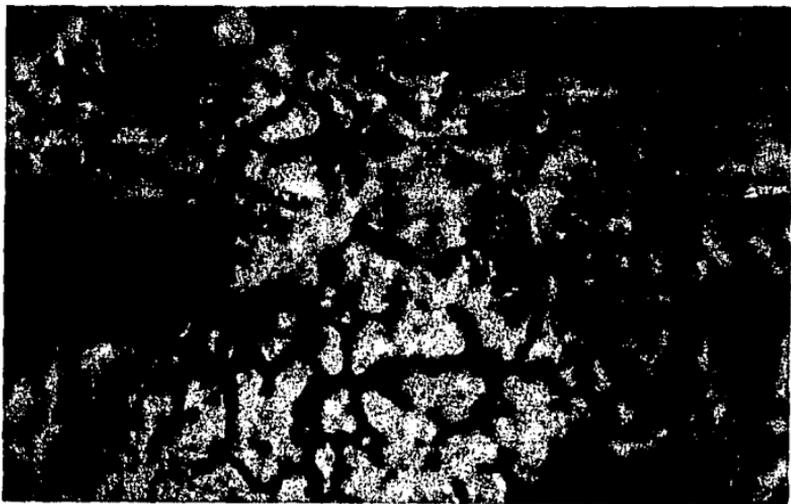
*Fig. 5.5. Región interdendrítica de estructura laminar. Colada III. 600X.*



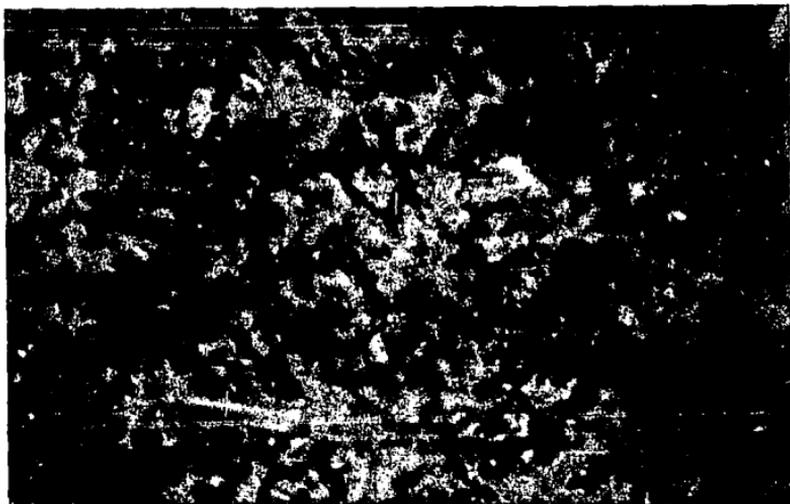
*Fig. 5.6. Región clara por efecto de la segregación. Colada I. 150X.*



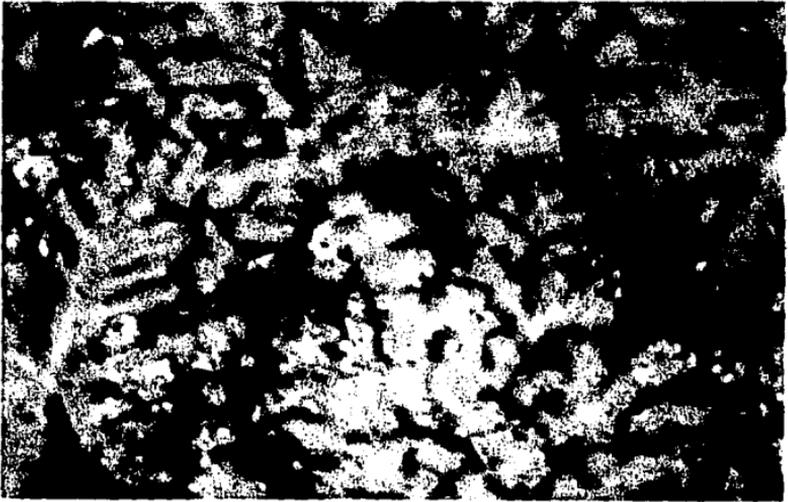
*Fig. 5.7. Región interdendrítica. Colada I. 600X.*



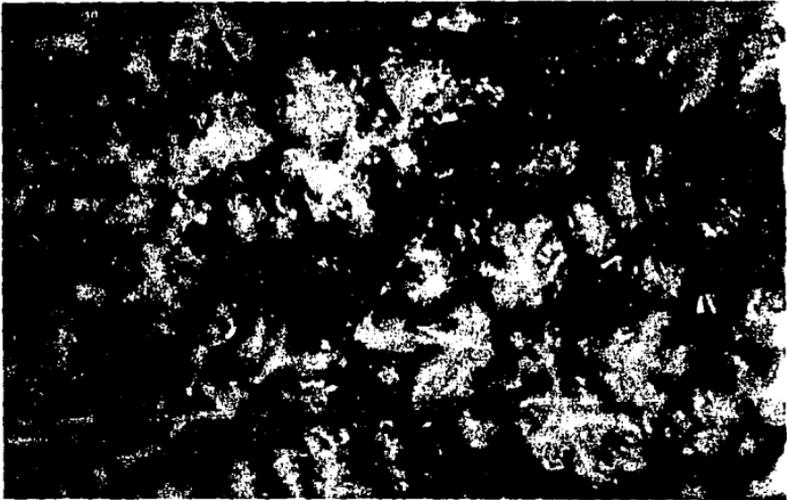
*Fig. 5.8. Dendritas equiaxiales. Colada I. 150X.*



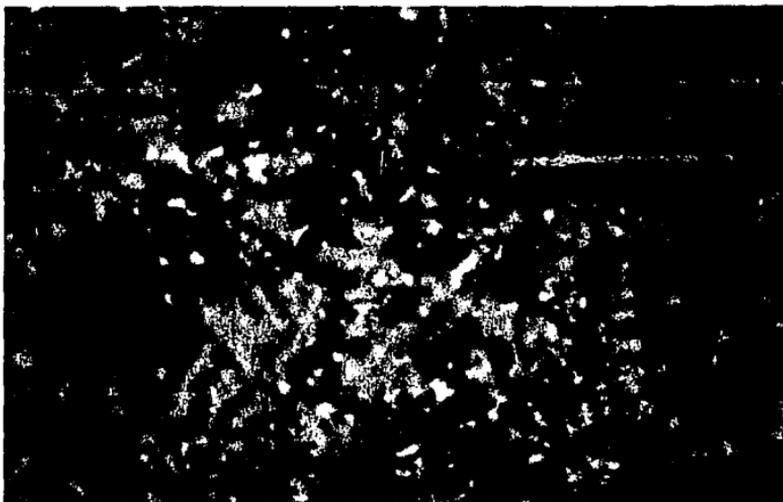
*Fig. 5.9. Dendritas equiaxiales. Colada I. 150X.*



*Fig. 5.10. Dendritas equiaxiales. Colada II. 150 X.*



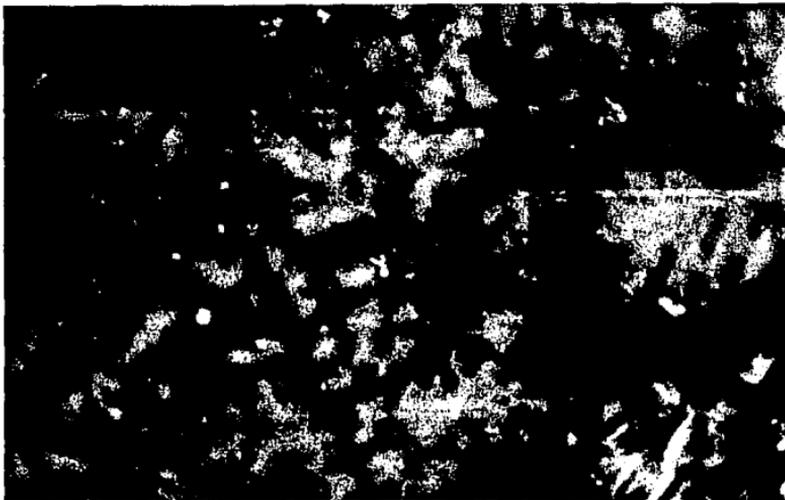
*Fig. 5.11. Dendritas equiaxiales. Colada III. 150X.*



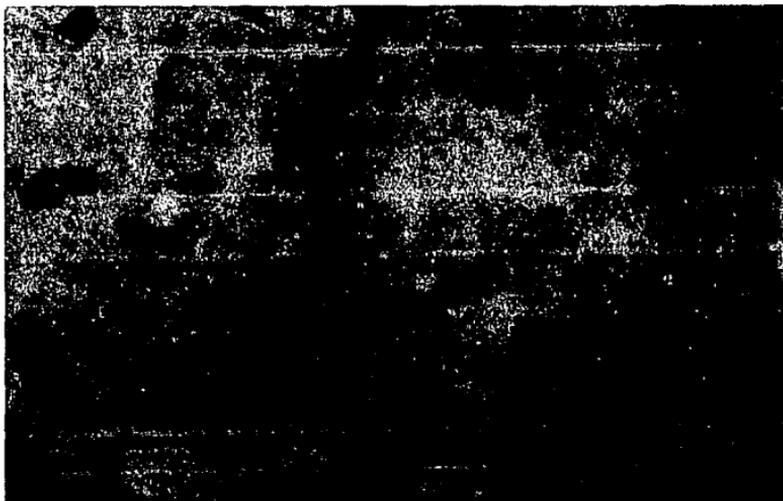
*Fig. 5.12. Dendritas equiaxiales. Colada III. 150X.*



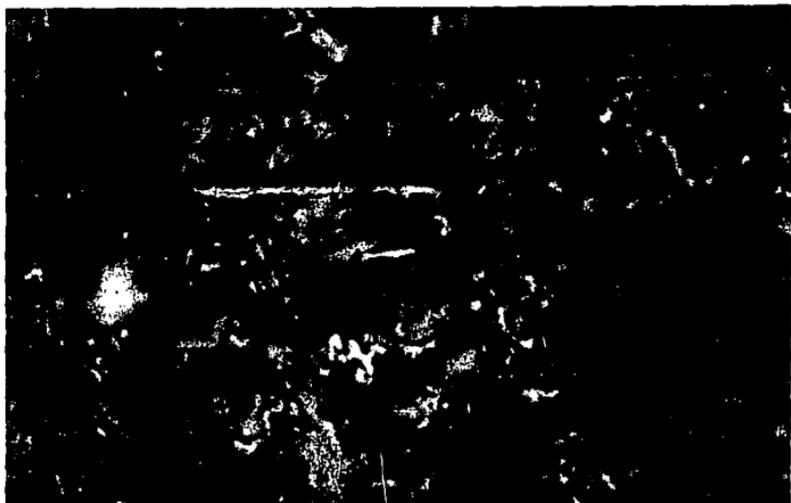
*Fig. 5.13. Región interdendrítica. Colada III. 600X.*



*Fig. 5.14. Dendritas equiaxiales. Colada III. 150X.*



*Fig. 5.15. Región interdendrítica. Colada III. 600X.*



*Fig. 5.16. Dendritas equiaxiales. Colada III. 150X.*



*Fig. 5.17. Región interdendrítica. Colada III. 600X.*

### V.3 PRUEBA DE TENSION

Las probetas maquinadas se sometieron a la prueba de tensión las cuales fueron deformadas en una máquina marca Shimadzu, modelo UMH-20, de una capacidad máxima de 20 toneladas, seleccionando la carga aplicada en 5 toneladas.

Lo que se observó al realizar la prueba fue la ausencia de un cuello al finalizar el ensayo y la fractura de las probetas no fue al centro como se esperaba (fig. 5.18)

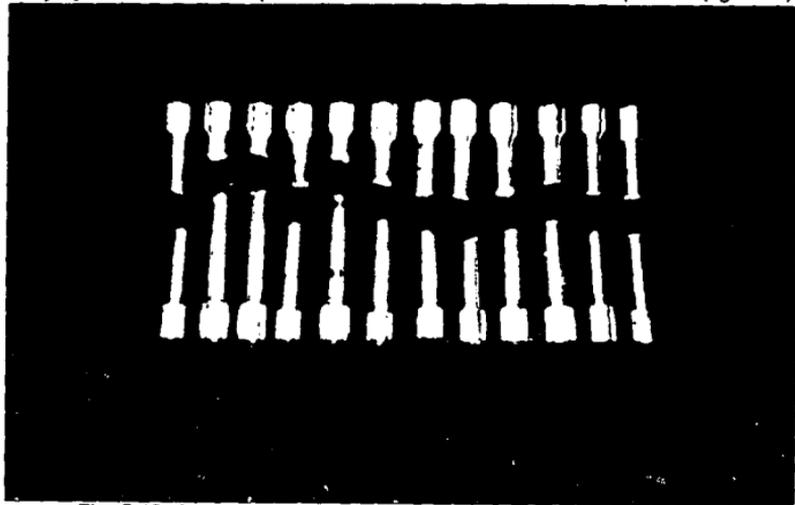


Fig. 5.18. Aspecto de las probetas después del ensayo de tensión.

Mediante dicho ensayo se encontraron los valores de resistencia máxima a la tensión ( $\bar{\sigma}_{max}$ ), límite elástico ( $\bar{\sigma}_e$ ) y deformación a la ruptura ( $\epsilon_r$ ), donde:

$$\bar{\sigma}_{max} = \frac{\text{Cargamax}}{\text{Areao}} = \frac{P_{max}}{A_o} \quad \text{y} \quad \epsilon_r = \frac{l_f - l_o}{l_o}$$

Los resultados se muestran en la siguiente tabla (fig. 5.19). Cabe mencionar que no hubo reducción de área apreciable en las probetas.

Colada	Carga (kg)	$\bar{\sigma}_{\max}$ (MPa)	$\bar{\sigma}_e$ (MPa)	$\epsilon_r$ %
I	3500	275	69	0.008
I	3120	245	49	0.008
I	3160	249	58	0.008
I	3040	239	52	0.008
II	2340	184	61	0.004
II	2870	226	43	0.006
III	2990	235	86	0.004
III	2810	221	105	0.004
III	2480	195	66	0.004
III	2950	232	50	0.006
III	2700	212	125	0.002
III	2710	213	47	0.006

Fig. 5.19 Tabla de valores obtenidos del ensayo de tensión.

#### V.4 DUREZA

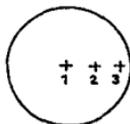
La prueba de dureza empleada fue Rockwell B con una carga aplicada de 100 kg. y un penetrador de bola de 1/16 pulg. de diámetro.

La prueba se efectuó a muestras atacadas químicamente en tres puntos distintos en dirección radial.

Los resultados obtenidos muestran cierta variación y hubo dos muestras a las que no se pudo aplicar la prueba. Los resultados se enlistan en la siguiente tabla (fig. 5.20).

Colada	Dureza (Rb)			Promedio
	1	2	3	
I	55	50	47	51
I	44	43	44	44
I	42	49	45	45
II	39	55	50	44
II	34	58	50	47
III	45	49	51	48
III	38	53	41	44
III	53	54	50	52
III	56	54	50	53
III	47	49	45	47

Fig. 5.20 Tabla de valores obtenidos de la prueba de dureza.



La finalidad del presente estudio es la de evaluar las propiedades mecánicas del Zinalco y ver qué es lo que podemos esperar cuando trabajamos en condiciones reales de laboratorio, tomando en consideración que anteriores investigaciones sobre Zinalco se han hecho en condiciones óptimas, y contando con el material y equipo adecuado.

Ahora bien, si tomamos en cuenta que el material se puede conseguir en la Cía. Zinalco S.A., cuyo costo por kilogramo es de N\$ 9, resulta económico fundirlo en el laboratorio de manufactura, aunque no se tenga un control preciso de la temperatura de fundición.

Hubo alguna diferencia en los resultados de la prueba de tensión, y las probetas de la primer colada fueron ligeramente las más resistentes. Hay que tomar en cuenta que influyeron muchas variables en los resultados, porque el material sobrante de las coladas se volvía a refundir y en este proceso, en teoría, se podría alterar un poco la composición química, ya que el zinc tiene menor punto de fusión y el desgasificador incrementó la temperatura; las porosidades internas actuaron como concentradores de esfuerzo, al igual que el acabado superficial después del maquinado.

La resistencia promedio de las doce probetas se vio seriamente reducida, de 320 Mpa de anteriores trabajos sobre Zinalco, a 227 Mpa. Las probetas no formaron un cuello al aplicar la prueba de tensión, y las que sufrieron más deformación fueron las de la primer colada.

La prueba de dureza mostró variaciones en los tres puntos realizados en dirección radial, lo que significa que el enfriamiento no fue uniforme. La dureza promedio resultó de 48 Rb comparada con 57 Rb de anteriores trabajos sobre Zinalco.

La microestructura de las muestras presenta dendritas equiaxiales donde están separadas las fases Zn y Al, y las regiones interdendríticas con estructura laminar, y se observa que no hubo una completa homogeneización de líquido. Las dendritas tienen una microestructura interna más fina que la región interdendrítica, y aparecen algunas zonas claras por efecto de la segregación.

Las muestras de la colada I presentan dendritas más finas que las de la colada III, y posiblemente esa sea la razón de la mayor resistencia. También se aprecia que las porosidades internas de las muestras de la colada I son más pequeñas.

Los espacios interdendríticos de la colada I están más finamente distribuidos como consecuencia del calentamiento diferente de las otras dos coladas.

De los resultados obtenidos en este trabajo se puede concluir que en general las propiedades mecánicas adquiridas bajo condiciones reales son menores a las obtenidas en anteriores trabajos realizados en condiciones ideales. Por tanto, puede esperarse una disminución tanto en la dureza como en la resistencia a la tensión.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

## **BIBLIOGRAFIA**

- Sydney H. Avner. Metalurgia física. Mc Graw Hill.
- Richard Aloysius Flinn. Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones. Mc Graw Hill.
- Capello. Tecnología de la fundición. Continental.
- Alonso Zultze. Fundición y modelos. URMO.
- B. H. Amstead, Phillip F. Ostwald, Myron L. Begeman. Procesos de manufactura.
- Thomas Gregor. Procesos básicos de manufactura. Mc Graw Hill.
- Myron Louis Begeman, B. H. Amstead. Procesos de fabricación. URMO.
- Felipe A. Calvo. Metalografía práctica. Alfambra.
- Jack Phillip Holman. Métodos experimentales para ingenieros. Mc Graw Hill.
- J. Hinojosa, J. Montemayor y G. Torres. Microestructura y propiedades mecánicas de la aleación Zn-22% peso Al-2% peso Cu obtenida por colada semicontinua. Revista Mexicana de Física. Vol. 37. Enero-Marzo 1991.
- 1990 Annual book of ASTM standars. Sección 2. Vol. 02.02. Nonferrous Metal Products.
- Jordy Micheli, Alfredo Hualde. Zinalco, un nuevo material para la industria. Tecnindustria. No. 13. Dic. 1993 - Enero 1994.