

140
21.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLÁN

**"ESTRUCTURA Y PROPIEDADES EN BARRAS
DE ZINALCO COLADAS EN MOLDES
PERMANENTES"**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA MECÁNICA ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
G A I L S U A S T E G U I N A V A

ASESOR: M.I. FELIPE DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ.

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO. 1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN, U. N. A. M.
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION FISCAL
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

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

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Coballos
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 la TESIS:

"Estructura y Propiedades en Barras de Zinco Coladas en Moldes Permanentes".

que presenta la pasante: Gail Guastemui Novo.

con numero de cuenta: 883088-2 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánica Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida 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"
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Mex., a 13 de Octubre de 1974

PRESIDENTE	<u>Ing. Moé Garcia Lira</u>	
VOCAL	<u>Ing. José Luis Buenrostro Rodriguez</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. Felipe Diaz del Castillo</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Eduardo Covarrubias</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Jesús Garcia Lira</u>	

A MIS PADRES:

Sabiendo que no existirá una forma de agradecer una vida de sacrificio y esfuerzo, quiero que sientan que el objetivo logrado también es de ustedes y que la fuerza que me a ayudado a seguir es gracias a su apoyo, a sus principios y valores que han forjado en mí, por su comprensión y ayuda en la realización de mis estudios, por esa gran herencia y cariño.

GRACIAS.

AGRADECIMIENTOS:

A MIS HERMANOS:

Danaé Suástegui Nava

Erik Suástegui Nava.

Por su cariño y comprensión todo este tiempo.

A MIS MEJORES AMIGAS:

Claudia González Piña

Juana Bocio Martínez

Miriam Aguilar Avila

Ma. Guadalupe Ledezma Nuñez.

**Quienes con su ayuda, apoyo y comprensión me alentaron a lograr esta realidad;
gracias por su amistad.**

A MIS MEJORES AMIGOS:

Fco. Alejandro Santiago Ramírez

Juan Carlos Velázquez Hernández.

Gracias por su ayuda, comprensión y el apoyo que siempre me han brindado.

AGRADECIMIENTOS:

**A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
NUESTRA ** ALMA MATER ****

Como fuente inagotable de enseñanza por haberme formado como profesionista.

Al M.I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez:

Agradezco por el gran empeño, dedicación e interés demostrado a la realización de esta tesis.

A todos los profesores que han intervenido en mi formación y a la honorable mesa del jurado.

A las personas que laboran en el Laboratorio de PUIDE:

Enriqueta Vega de la Rosa

Luis Bustamante Murillo

Saúl de la Rosa Nieves

Marcos Jiménez Davila

Enrique Parraga Tavera

Por su comprensión, ayuda he realizado esta tesis; gracias.

Al señor José Luis Montoya:

Gracias por su ayuda, apoyo y consejos he llegado a realizar esta tesis.

INDICE

	PAGINA
CAPITULO I	
INTRODUCCION	1
1.1.- OBJETIVO	5
1.2.- JUSTIFICACION	5
1.3.- DESCRIPCION	6
CAPITULO II	
METALURGIA DEL ZINALCO	7
CAPITULO III	
PROCESAMIENTO DEL ZINALCO	11
CAPITULO IV	
EXPERIMENTACION	14
4.1.- FABRICACION DEL MOLDE	14
4.2.- OBTENCION DE LAS BARRAS	16
4.3.- PREPARACION DE MUESTRAS PARA	
METALOGRAFIA	17

4.4.- MEDIDAS DE DUREZA	18
4.5.- ANALISIS MEDIANTE RAYOS X	19

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSION	20
-------------------------------	-----------

5.1.- MICROESTRUCTURA	20
------------------------------	-----------

5.2.- DUREZA	22
---------------------	-----------

GRAFICAS	25
-----------------	-----------

5.3.- RAYOS X	29
----------------------	-----------

TABLAS DE DISTANCIA INTERPLANAR	31
--	-----------

DIFRACTOGRAMAS	32
-----------------------	-----------

5.4.- APLICACIONES	34
---------------------------	-----------

CAPITULO VI

CONCLUSIONES	35
---------------------	-----------

BIBLIOGRAFIA	36
---------------------	-----------

APENDICE A	38
-------------------	-----------

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN.

Los intentos por modificar 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 base a la ciencia; ya que el conocimiento resultante se utiliza para satisfacer las necesidades de la sociedad en el campo de los materiales.

Aproximadamente cuarenta y dos años atrás se desarrollaron en Alemania aleaciones Zn - Al para sustituir al bronce, ya que el cobre había escaseado. Algunas aleaciones que llegaron a contener del 10 al 30 % de aluminio compitieron con el bronce hasta el grado de llamarlo bronce blanco; de aquí que algunas de las compañías europeas fundidoras trabajaban con estas aleaciones con excelentes resultados.

Posteriormente se desarrollaron aleaciones con contenidos de Zn menos elevados (5%), de elaboración más fácil, pero características mecánicas inferiores. El empleo de estas aleaciones se pudo mejorar extendiendo la resistencia a la corrosión de una aleación aluminio - zinc.

En un principio cuando se empezaron a utilizar las aleaciones aluminio - zinc; una de ellas muy utilizada en Alemania era la Karl Schmidt hat, con la cual se

fabrican cojinetes de cigüeñal del motor Volkswagen con la siguiente composición :

Al	_____	91.2 %
Zn	_____	5 %
Cu	_____	1 %
Pb	_____	1 %
Si	_____	1.3 %
Mg	_____	0.5 %

La dureza obtenida en los cojinetes extruídos en prensa y estabilizados es de 40 a 60 Brinell, lo que permite una temperatura de funcionamiento en el cárter de unos 180 °C.

Las aleaciones más importantes con alto contenido de zinc, no contienen más del 30 - 40% de aluminio. Así el ALZEN 305 (Zn + 30 a 40 % de Al + 5 a 10 % de Cu) puede, en ciertas condiciones, trabajar hasta temperatura de 400 °C. La aleación de la Main Metal Ltd, (58 % Zn + 38 % Al + 3 % Cu) tiene las siguientes características :

Resistencia máxima	-----	38.1 Kg / mm ² .
Limite elástico	-----	32.8 Kg / mm ² .
Alargamiento	-----	1.1 %
Dureza Brinell	-----	116.

Investigaciones iniciadas en el Instituto de Investigaciones de Materiales de la UNAM en 1976, permitieron el desarrollo de una aleación relativamente nueva denominada Zinalco, que conserva las características excelentes de fundición y vaciado que tienen las aleaciones conocidas de zinc, con propiedades mecánicas muy superiores a éstas y con posibilidades de ser extruída, forjada y laminada, la cual le abre al zinc nuevos campos de aplicaciones, que le van a permitir aumentar su consumo y evitar que la sustitución, que actualmente está sufriendo por el plástico o el aluminio, lo desplacen del mercado.

Una de las propiedades más sorprendentes de esta aleación es la de comportarse como un plástico a temperaturas de 0.5 a 0.6 de su temperatura de fusión (en Kelvin) y de comportarse como un acero de bajo carbono a temperatura ambiente.

Otra característica importante de las aleaciones eutéctoides Zn - Al es que al adicionarle cobre, le incrementa su ductilidad al grado que tiene un comportamiento superplástico a temperatura ambiente lo cuál nos da la oportunidad de realizar estudios de superplasticidad a tan baja temperatura. De las investigaciones realizadas se puede asegurar que en esta aleación todavía no existe una temperatura bien definida en la cuál el material pase a un estado superplástico. Aún no existe una teoría que describa el fenómeno de la superplasticidad en toda su extensión. Ya que la superplasticidad se considera como uno de los desarrollos más fascinantes logrados en el área de los materiales en los últimos años.

Los esfuerzos dedicados a la investigación y desarrollo de esta aleación han conducido a la acumulación de un sin número de conocimientos acerca de las diversas tecnologías de laminación, extrusión, fundición, moldeo a presión y de superplasticidad que es la propiedad más impresionante que presenta esta familia de aleaciones y consiste en una gran capacidad de deformación plástica mayor al 200 % que presenta durante una prueba de tensión, esto hace que el Zinalco se convierta en un material emparentado con los plásticos.

Los primeros resultados obtenidos de las investigaciones empezaban a mostrar la potencialidad de estas aleaciones. La finalidad que se perseguía al realizar estos estudios, fue la de encontrar nuevos usos que permitieran el mayor aprovechamiento del zinc producido en México, con el objeto de aumentar su consumo y evitar que éste metal, del cual somos productores a nivel mundial sufriera los efectos de la sustitución por plásticos y aluminio.

1.1. Objetivo.-

- Obtener distintas microestructuras en relación a la velocidad de enfriamiento.
- Observar la variación de la dureza a lo largo de la barra obtenida.

1.2. Justificación.-

La combinación de Zinc, Aluminio y Cobre ha provocado la aparición de una nueva familia de aleaciones en México denominada Zinalco [M.R].

El desarrollo de una nueva aleación de base zinc, le abre a este material campos nuevos de aplicación que anteriormente estaban vedados para él, estos campos son el de extrusión y la forja, sin menoscabo de las aplicaciones tradicionales del zinc en la fundición.

El Zinalco viene a llenar un vacío existente entre los dos materiales con más aplicaciones industriales, el hierro y el aluminio. La densidad del Zinalco es de 5.4 g / cm^3 , lo cual lo hace 31 % más ligero que el acero (7.8 g / cm^3 , aunque pesa el doble que el aluminio 2.7 g / cm^3). Sin embargo, su resistencia mecánica es muy semejante a la de un acero bajo en carbono. Por otra parte, su resistencia a la corrosión es intermedia entre el aluminio y el zinc, lo cual lo sitúa entre los metales con buena resistencia a la corrosión.

El zinc ha sido hasta ahora un material subutilizado y de bajo precio, del cual México es un importante productor a nivel mundial.

1.3. Descripción.-

Para llevar a cabo la fundición se construyó un molde de acero cold rolled con ayuda del cual se obtuvieron las cuatro barras.

La fundición se realizó en un horno eléctrico utilizando un crisol de grafito, una vez estando el metal en estado líquido a una temperatura de 621 °C, se procedió al vaciado en el molde para así dejar enfriar la barra.

Dos de las barras obtenidas se enfriaron al medio ambiente y las otras dos se enfriaron por medio de un chorro de agua que golpeaba la parte inferior del molde siendo este último un enfriamiento brusco.

Una vez obtenidas las cuatro barras de 4 pulgadas de longitud por 0.5 pulgadas de diámetro se hicieron cortes de 0.75 pulgadas de longitud para obtener así varias probetas y posteriormente hacer el desbaste manual y el pulido mecánico de las muestras.

Y por último se practicó la prueba de dureza con la ayuda del durómetro y en cada una de las muestras que se obtuvieron.

CAPITULO II

METALURGIA DEL ZINCO.

La composición química del Zinco es aproximadamente Zn - 22 Al - 2 Cu (% en peso); por lo que el zinc es el solvente, el cobre y el aluminio son los solutos.

Tanto el zinc con una (estructura cristalina HCP) y el aluminio (estructura cristalina FCC) tiene un radio atómico semejante por lo que es posible la formación de soluciones sólidas sustitucionales.

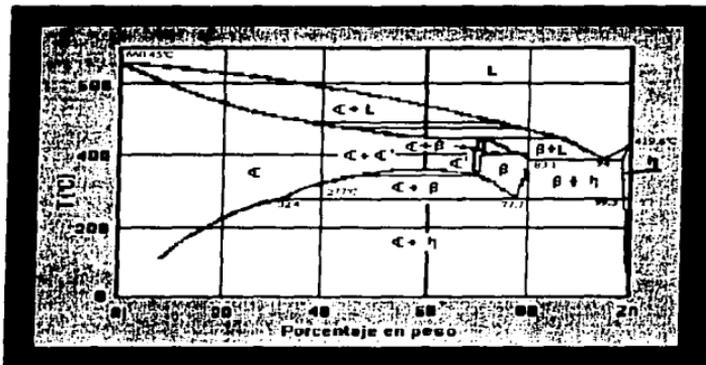


Figura.- 2.1. Diagrama de equilibrio Al - Zn.

En la **Figura 2.1** se muestra el diagrama de equilibrio Al - Zn, el cuál es un sistema con un limite de solubilidad.

Las fases que se encuentran presentes en dicho diagrama son las siguientes :

Fase α .- Es una solución sólida de zinc en aluminio con estructura CF que tiene una solubilidad mínima de 1.5 % p Zn a temperatura ambiente y una solubilidad máxima de 83.1 % p Zn a 381 °C.

Fase α' .- Es una solución sólida ordenada, aunque no esta comprobada del todo su existencia como fase única.

Fase η .- Es una solución sólida de aluminio en zinc con estructura HC que puede disolver hasta 1.5 % p de Al a una temperatura de 381 °C siendo despreciable su solubilidad a temperatura ambiente.

Fase β .- Mezcla peritética, rica en zinc con estructura CF.

En el diagrama explicado anteriormente las principales transformaciones en la solidificación se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla . 2.1.- Reacciones que se presentan en el diagrama de fases Al - Zn.

Reacción.	Composición. % Zn.	Temperatura. ° C.	Tipo de reacción
L → η + β	94 83.1 98.5	381	Eutéctica.
β → α + η	77.7 32.4 99.3	277	Eutectoide.
α → α + α'	62	351.5	Crítica.
L → α	0	660.4	Congruente.
L → η	100	419.58	Congruente.

Durante la solidificación ocurren grandes cambios en la composición del sólido sobre estrechos rangos de temperatura. La solubilidad de zinc en α aumenta de 4 % Zn a 100 °C a 32.4 % Zn a la temperatura eutectoide. 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 del aluminio en (Zn) es 1.5 % Al a la temperatura eutéctica, decreciendo a 0.7 % Al a 277 °C.

La solución sólida con estructura FCC puede retenerse a temperatura abajo del solvus en equilibrio. La descomposición de la solución sólida origina una serie de estructuras metaestables (compuestas de granos heterogéneos ó aglomerados), tales como zonas esféricas y elipsoidales; precipitados de estructura romboédrica, la cual toma la forma de plaquetas coherentes con la matriz FCC y una incoherente fase α' .

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

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

CAPITULO III

PROCESAMIENTO DEL ZINALCO.

En seguida se mencionan los diferentes procesos que existen mediante los cuales puede ser procesado el Zinalco.

- **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 electrónica o estructural.

Las barras y soleras constituyen un material inmejorable por su excelente maquinabilidad.

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

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

- 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.

Las propiedades del Zinalco lo hacen susceptible de ser usado en sustitución del latón, del hierro, del bronce y aún del aluminio. El bajo punto de fusión de la aleación da como resultado un ahorro de energía, ya que el Zinalco puede ser fundido dos veces más rápido que el aluminio y tres más que el bronce.

La densidad es 22 % menor que la del Zamak y 37 % menor que la del hierro, por lo cual el rendimiento en piezas por kilogramo obtenidas es mayor. Aunque pesa el doble que el aluminio su resistencia mecánica es también cercana al doble por lo cual, utilizando diseños con pared más delgada podríamos obtener resistencias y peso semejantes a las piezas fundidas en aluminio y por supuesto a un menor costo.

Las bajas temperaturas de colada, permiten el uso de moldes fabricados con arenas naturales aglomeradas con arcilla y terminados con polvo de grafito para dar un acabado superficial excelente.

Otras propiedades que permiten el buen resultado del moldeo al usar estas aleaciones, es su lenta oxidación con lo cual se logra conservar la fluidez y su casi nula absorción de gases a la temperatura de colada que es de 550 °C.

Un proceso diferente de solidificación, que se puede aplicar al Zinalco con ventajas, es el proceso de la colada ó vaciado continuo. En la industria

metalúrgica encuentra su aplicación para la obtención de barras y láminas, las cuales son la base para la manufactura de piezas específicas.

La geometría del molde también es importante en la determinación de la rapidez de enfriamiento y genera otra función del molde que es la de dar forma al lingote obtenido por este proceso.

Las aplicaciones que pueden darse a los productos obtenidos por colada semicontinua, son muy variados y van desde barras para maquinar con secciones cuadrada, hexagonal ó redonda, hasta tubos ó figuras más complicadas como engranes. Las secciones sólidas pueden aplicarse directamente a la forja, sin requerir al costoso proceso de extrusión que actualmente se aplica al latón para forja.

Ya que el Zinalco es básicamente la aleación eutectoide Aluminio - Zinc modificado con cobre y con adiciones de magnesio ó cadmio, que permiten graduar sus propiedades dependiendo a la aplicación a la que se destine.

El zinc tiene un bajo punto de evaporación de 907 °C, en comparación con el punto de fusión del cobre 1083 °C.

La solubilidad del grafito en zinc a cualquier temperatura es prácticamente nula, así que no es de esperarse que el crisol contamine nuestra aleación.

CAPITULO IV

EXPERIMENTACION.

4.1.- Fabricación del molde.-

La fundición en molde permanente tiene varias ventajas sobre la fundición en molde de arena especialmente para la producción de lotes grandes de piezas. Las tolerancias dimensionales son más consistentes y pueden mantenerse en el rango de ± 0.25 mm (0.01 plg). La conductividad térmica más elevada a través de la pared del molde produce un enfriamiento más rápido del metal vaciado obteniéndose una estructura de grano más fina y consecuentemente mayor dureza y resistencia mecánica, así mismo, se obtiene un mejor acabado superficial.

Para el presente trabajo se diseñó y fabricó un molde con una sola cavidad y se seleccionó para su manufactura un acero cold rolled (NOM-1018 acabado en frío) ya que la temperatura de vaciado del Zinalco es relativamente baja y el número de probetas requeridas es pequeño.

La forma y dimensiones del molde fabricado se muestran en la figura. 4.1.

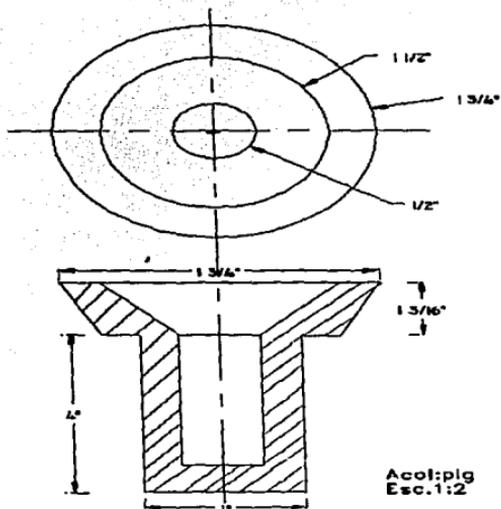


Figura : 4.1.- Molde utilizado para obtención de las probetas.

4.2.- Obtención de barras.-

Con ayuda de un horno portátil se fundió el Zinalco en un crisol de gráfita a una temperatura de 650 °C. De ese modo se obtuvieron de manera consecutiva 2 barras de 100 mm de longitud y 12.7 mm de diámetro, las cuales se enfriaron en aire calmo (de ahora en adelante las denominaremos barras 1 y 2).

Posteriormente se obtuvieron otras dos barras pero en esta ocasión el extremo inferior del molde fué enfriado mediante un chorro de agua fría como se muestra en la figura. 4.2 produciendo de esta manera un enfriamiento más rapido de las barras. (Las barras obtenidas las denominaremos barras 3 y 4).

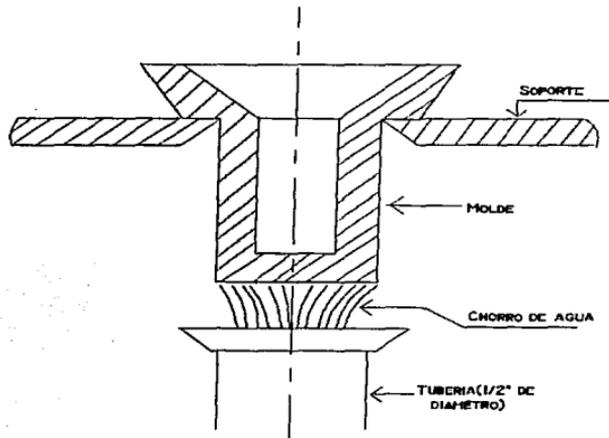


Figura : 4.2.- Enfriamiento brusco en agua de las barras 3 y 4.

4.3.- Preparación de muestras para metalografía.-

A partir de las barras obtenidas en el paso anterior se cortarán trozos de aproximadamente 20 mm de longitud, de tal modo que se tuvieron en total 20 probetas. Posteriormente, se desbastaron de manera sucesiva con papeles abrasivos del número 220, 400, 500 y 600 y usando agua como lubricante, luego se pulieron mecánicamente utilizando un paño de lana y alúmina con tamaño de partícula de 5 y 0.05 μm .

Las probetas se enjuagaron con agua y después con alcohol y se secaron con aire a presión. Por último, se realizó el ataque químico empleando un reactivo con la siguiente composición:

40g CrO_3 + 3g $\text{Na}_2 \text{SO}_4$ + 200ml de agua; se enjuagaron con una solución 40g de CrO_3 + 200 ml de agua.

Se lavarón perfectamente, primero con agua, después con alcohol y se secaron con un chorro de aire.

La observación de la estructura a 100 y 400 aumentos se realizó con la ayuda de un microscopio óptico marca UNIÓN. La impresión de la imagen se realizó en una cámara fotográfica integrada al microscopio.

4.4.- Medidas de dureza.-

A las probetas pertenecientes a las barras 1, 2, 3 y 4 preparadas en el paso anterior se les hicieron mediciones de dureza Rockwell B (carga de 100 Kg y penetrador de bola de 1/16" de diámetro) en nueve posiciones diferentes (centro, mitad radio y superficie) tal y como se muestra en la figura. 4.3; además se da una breve descripción de lo que significan las nueve posiciones que se hablan en el proceso de hacer las mediciones de dureza.

Las abreviaturas que utilizamos para denotar cada medición se describen a continuación :

C.- CENTRO.

Los números 1, 2, 3 y 4 presentados en el dibujo

M.R.- MITAD RADIO.

van en secuencia de las mediciones tomadas.

S.- SUPERFICIE.

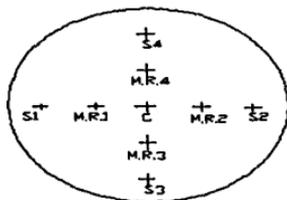


Figura: 4.3.- Ilustra las nueve posiciones para la medición de dureza.

4.5.- Análisis mediante rayos x.-

Para reforzar el análisis hecho mediante microscopio óptico, se decidió hacer un análisis mediante difracción de rayos x; para ello se usaron dos probetas pertenecientes a las barras 2 y 4 (parte central) y se obtuvieron discos de aproximadamente 0.5 mm de espesor. A continuación, se desbastó una cara de cada disco en presencia abundante de agua, se lavaron con alcohol y se secaron con un chorro de aire. Dichos discos se colocaron sobre el portamuestras del difractómetro marca SIEMENS modelo D5000 con la cara desbastada colocada hacia arriba. Para el ángulo de prueba 2 θ se definió el rango de 35° a 60°.

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1.- Microestructura.-

Las fotomicrografías que se muestran de la figura. 5.1 a la 5.3 dejan ver que la estructura del Zinalco colado en molde permanente. Está constituida fundamentalmente por dendritas equiaxiales (fases α y β) del sistema y zonas interdendríticas. También se puede apreciar que en las barras enfriadas rápidamente el tamaño de las dendritas es menor debido a una mayor velocidad de enfriamiento; en la figura 5.3 se ve claramente que las zonas interdendríticas están formadas por una mezcla laminar muy fina, esto es, la llamada mezcla eutéctica de las fases α y η .



Figura 5.1.- Fotomicrografía de la sección transversal de una barra enfriada al aire. Donde se puede observar la presencia de dendritas equiaxiales y zonas interdendríticas.



Figura 5.2.- Fotomicrografía de la sección transversal de una de las barras enfriadas bruscamente, en la cual se puede observar la presencia de dendritas equiaxiales (de menor tamaño) y las zonas interdendríticas.



Figura 5.3.- Fotomicrografía de la sección transversal de una barra enfriada rápidamente en ella se puede apreciar que la zona interdendrítica esta constituida por la mezcla eutéctica laminar $\alpha + \eta$ del sistema Al - Zn.

5.2.- Dureza.-

Las mediciones de dureza realizadas a las probetas obtenidas a partir de todas las barras se muestran en las Tablas. 5.1, a la 5.4; respectivamente.

Como se puede apreciar, en la barras enfriadas al aire se obtuvo una dureza menor comparada con las que se enfriaron mediante un chorro de agua debido a que su estructura es más fina, así mismo, podemos observar que la dureza a través de la sección transversal prácticamente es constante, no así en la barra enfriada con agua, donde la dureza en la superficie es mayor que la se tiene en el centro.

Tabla. 5.1. Valores de dureza obtenidos en la barra 1.

	D	U	R	E	Z	A		(Rb)	
Probetas	C	M.R.	S 1	M.R.2	S 2	M.R.	S 3	M.R.	S 4
1.1	71.5	70.5	67	69.5	67	67.5	69	70.5	68.5
1.2	69.5	68	68.5	71.5	62.5	53	69	70.5	54
1.3	66	66	68	52	68	69.5	69	68	68.5
1.4	69.5	68.5	69.5	69	64.5	69.5	68	69.5	66.5
1.5	70.5	68.5	65	70	66	57	70	67	59.5
Promedio	69.4	68.3	67.6	66.4	65.6	63.3	69	69.1	63.4

CENTRO	MITAD RADIO	SUPERFICIE
69.4	66.8	66.4

Con los valores promedio de dureza obtenidos se trazaron las gráficas que se muestran de la Figura 5.4 a la Figura 5.7

Tabla. 5.2. Valores de dureza obtenidos en la barra 2.

	D	U	R	E	Z	A		(Rb)	
Probetas	C	M.R.	S 1	M.R.	S 2	M.R.	S 3	M.R.	S 4
2.1	71	72	72	72.5	68	72	71	71.5	68.5
2.2	71.5	55.5	58.5	72	66.5	72.5	69.5	49.5	38
2.3	68	51	56	71	64	70	67	69.5	66.5
2.4	61	66	64	64	64.5	67	60	70	60
Promedio	67.9	61.1	62.6	70	66	70.4	67	65.1	58.3

CENTRO	MITAD RADIO	SUPERFICIE
67.9	66.7	63.5

Tabla. 5.3. Valores de dureza obtenidos en la barra 3.

	D	U	R	E	Z	A		(Rb)	
Probetas	C	M.R.	S 1	M.R.	S 2	M.R.	S 3	M.R.	S 4
3.1	77.5	79.5	79.5	80	78	80	77	80	74.5
3.2	74.5	69	79	81	79	75.5	80	72.5	78.5
3.3	63	80	80	74	82	65	81	68	83
3.4	72	68	81	70	78.5	66	80	62	72
3.5	70	67	80	70	73	70	74	74.5	76
Promedio	71.4	72.7	79.9	75	78.1	71.3	78.4	71.4	76.8

CENTRO	MITAD RADIO	SUPERFICIE
71.4	72.6	78.3

Tabla. 5.4. Valores de dureza obtenidos en la barra 4.

	D	U	R	E	Z	A		(Rb)	
Probetas	C	M.R.	S 1	M.R.	S 2	M.R	S 3	M.R	S 4
4.1	75	82.5	82.5	82.5	83	82.5	81.5	83.5	83
4.2	74.5	82.5	82.5	82	81.5	82	83	81	82.5
4.3	74.5	81.5	83.5	82	83	83	73.5	82	78
4.4	82.5	84.5	84.5	83	82.5	84	83.5	84	82.5
4.5	77.5	77.5	81.5	82	81.5	71	82.5	82.5	82.5
Promedio	76.8	81.7	82.9	82.3	82.3	80.5	80.8	82.6	81.7

CENTRO	MITAD RADIO	SUPERFICIE
76.8	81.8	81.9

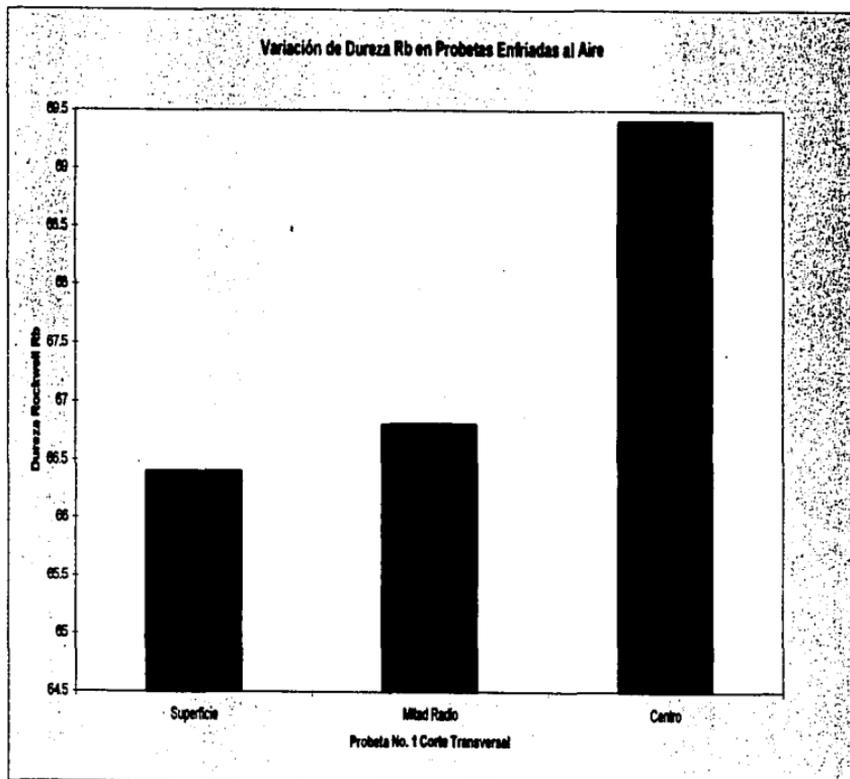


Figura 5.4

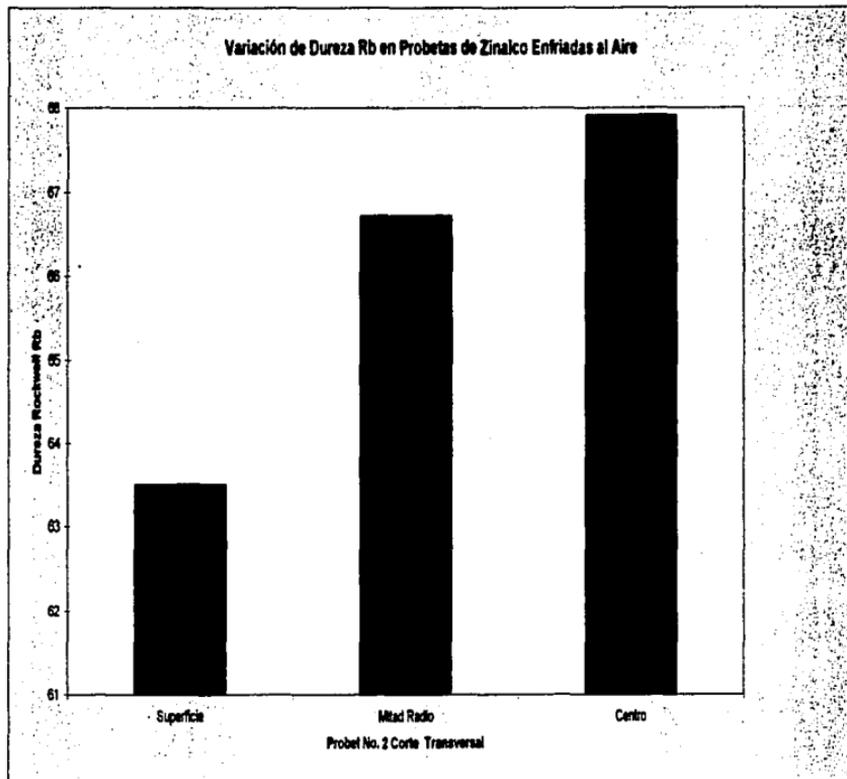


Figura 5.5

Variación de Dureza Rb en Probetas de Zinalco Enfriadas en Agua

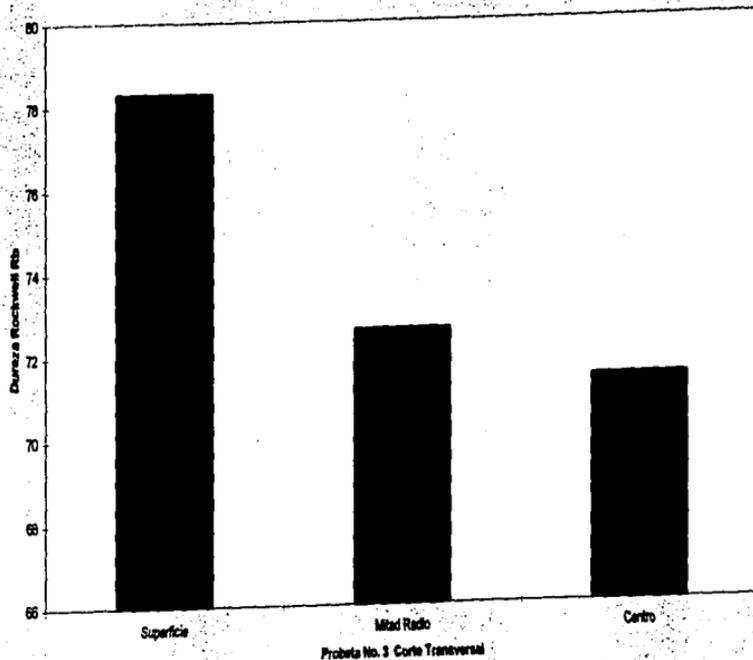


Figura 5.6

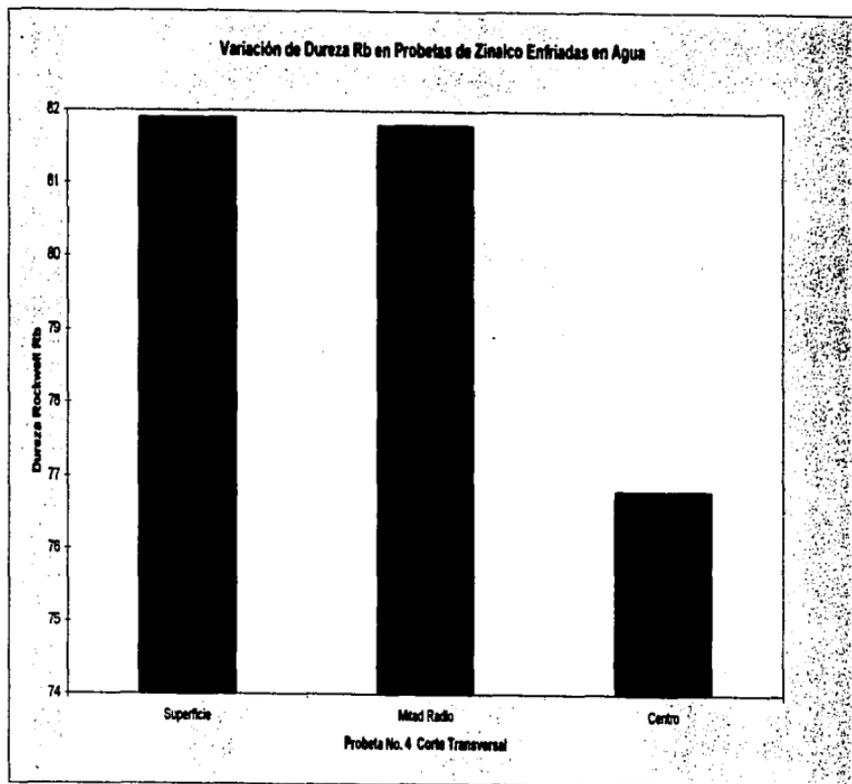


Figura 5.7

5.3.- Rayos x.-

En la figura 5.8. se muestra el difractograma perteneciente a la probeta de la barra 2 y en la figura 5.9. se muestra el correspondiente a la probeta de la barra 4.

Luego, apoyándose en la bibliografía consultada [9 ~ 11], y en la Ley de Bragg cuya ecuación establece lo siguiente:

$$d = \lambda / 2 \sin \theta$$

Donde:

λ = Longitud de Onda de los rayos x empleados.

d = Distancia Interplanar.

θ = Angulo de Difracción.

y en las siguientes relaciones :

Para la celda cúbica.

$$a = d \bullet (h^2 + k^2 + l^2)^{1/2}$$

a = Parámetro de red.

h, k, l = Índices de Miller de los planos de difracción.

Para la celda hexagonal.

$$a = (d^2 (4/3 (h^2 + k^2 + l^2) + l^2 (a^2/c^2)))^{1/2}$$

Donde :

a,c = Parámetros de red.

h, k, l = Índices de los Planos.

Se construyeron las Tablas 5.5 y 5.6. Entonces, el análisis realizado permitió identificar la fase α , la cual es rica en aluminio con una estructura FCC y parámetro de red $a = 4.0376 \text{ \AA}$; la fase η que es rica en zinc con una estructura

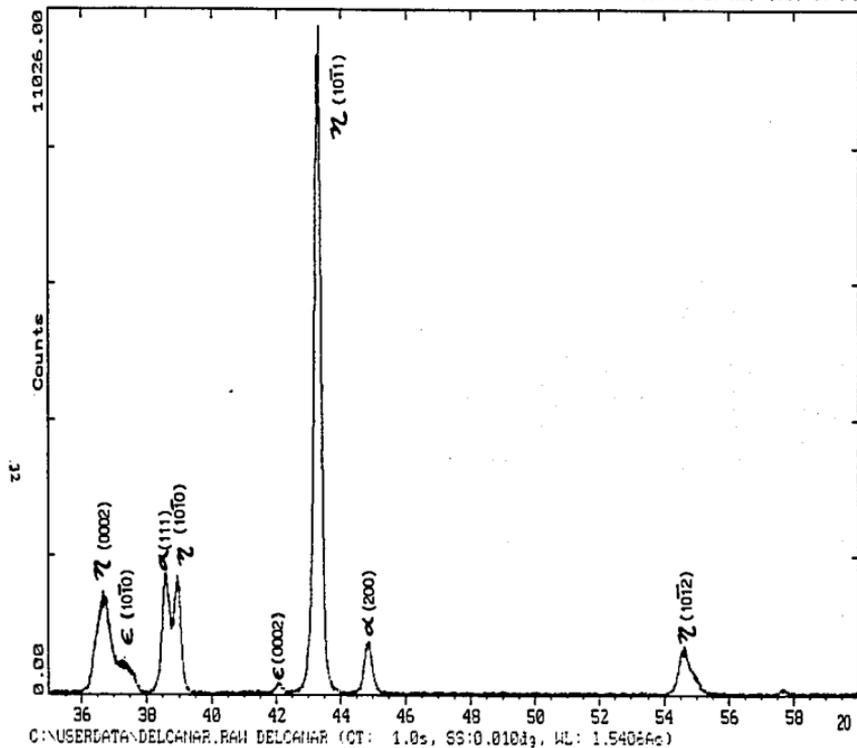
hexagonal compacta y parámetros de red de $a = 2.670 \text{ \AA}$ y $c = 4.9064 \text{ \AA}$; y la fase ϵ la cuál es el compuesto intermetálico CuZn_4 que también posee una estructura hexagonal compacta con parámetro de red $a = 2.766 \text{ \AA}$ y $c = 4.20 \text{ \AA}$. También se pudo observar que en la probeta enfriada rápidamente el parámetro de red c de la fase η sufrió una ligera contracción (0.53%), esto es, la celda se hace más corta, hecho atribuible a que posiblemente más átomos de soluto (cobre principalmente) quedaron atrapados en la red reduciendo el tamaño de la celda y consecuentemente haciendola más dura.

Tabla. 5.5. Valores de Distancia Interplanar obtenidos de la probeta 2.

	Angulo	Distancia		PROBETA	No. 2
	2 θ	Interplanar d	Fase	Estructura	Planos
Pico	Grados	(Å)			
1	36.6	2.4532	η	HCP	(0002)
2	37.4	2.4025	ϵ	HCP	(10 $\bar{1}$ 0)
3	38.6	2.3306	α	FCC	(111)
4	39.0	2.3076	η	HCP	(10 $\bar{1}$ 0)
5	42.1	2.10	ϵ	HCP	(0002)
6	43.3	2.0878	η	HCP	(10 $\bar{1}$ 1)
7	44.8	2.021	α	FCC	(200)
8	54.6	1.6794	η	HCP	(10 $\bar{1}$ 2)
9	57.7	1.5964	ϵ	HCP	(10 $\bar{1}$ 1)

Tabla. 5.6. Valores de Distancia Interplanar obtenidos de la probeta 4.

	Angulo	Distancia		PROBETA	No. 4
	2 θ	Interplanar d	Fase	Estructura	Plano
Pico	Grados	(Å)			
1	36.8	2.44	η'	HCP	(0002)
2	37.5	2.3964	ϵ	HCP	(10 $\bar{1}$ 0)
3	38.6	2.3306	α	FCC	(111)
4	38.9	2.3133	η'	HCP	(10 $\bar{1}$ 0)
5	42.1	2.10	ϵ	HCP	(0002)
6	43.3	2.0878	η'	HCP	(10 $\bar{1}$ 1)
7	44.9	2.017	α	FCC	(200)
8	54.6	1.6794	η'	HCP	(10 $\bar{1}$ 2)
9	57.7	1.5964	ϵ	HCP	(10 $\bar{1}$ 1)

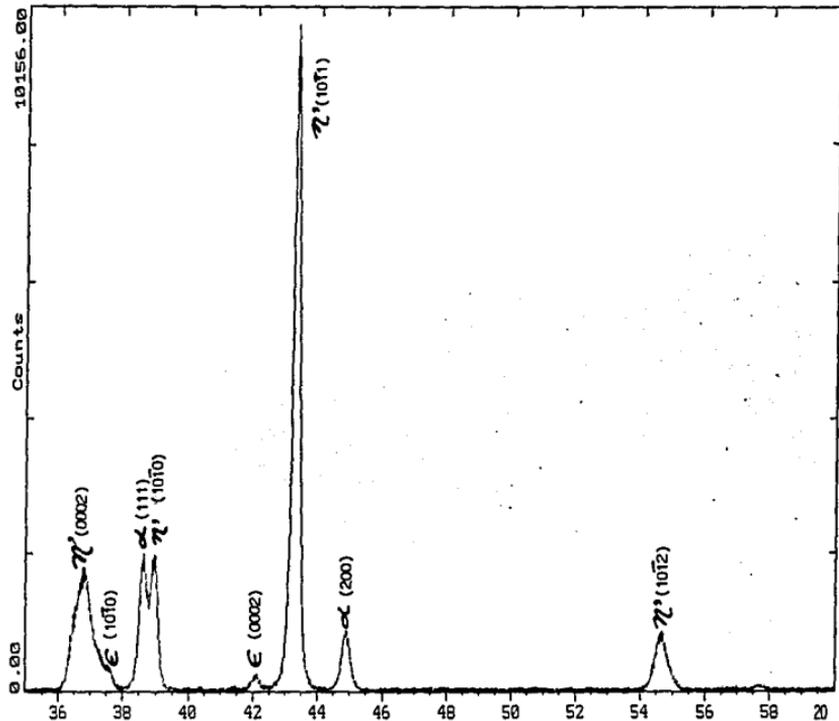


PROBETA No. 2

Figura 5.8.- Difractograma de Probeta de Zn-22Al-20Cu (% en peso) de 12.5 mm. de diámetro.

Z-Theta - Scale

UNAM CAMPO 1 CUAUTITLAN. 07-Mar-1997 07:30



C:\USERDATA\DELCAHAR.FAH DELCAHAR (CT: 1.0s, SS:0.010d_s, WL: 1.54056-Å)

PROBETA No. 4

5.4.- Aplicaciones .-

Las características y propiedades del Zinalco lo hacen apropiado para la producción en serie de una amplia gama de productos mediante procesos convencionales de manufactura.

En el caso específico de colada en molde permanente se tienen las siguientes ventajas:

- la aleación funde a bajas temperaturas
- el molde utilizado tiene una larga vida
- como el enfriamiento es relativamente rápido se obtienen buenas propiedades mecánicas.

Se puede mencionar como un inconveniente que el Zinalco no debe usarse a temperaturas mayores de 150 °C, ya que se presenta el fenómeno de superplasticidad.

Por medio de este proceso se pueden obtener piezas como las que se mencionan a continuación :

- engranes
- cajas
- condulets
- perillas y piezas mecánicas
- piezas de ornato en general.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES.

Apoyándose en los resultados obtenidos del análisis metalográfico, medidas de dureza y análisis de rayos x se llega a las conclusiones siguientes:

- 1.- La microestructura está constituida por dendritas equiaxiales en la parte central de las barras y por grano fino en la zona cercana a la superficie.**
 - 2.- La dureza es mayor en las barras enfriadas rápidamente posiblemente por poseer un grano más fino.**
 - 3.- La dureza a través de la sección transversal aumento en un 7 por ciento en las barras enfriadas rápidamente.**
 - 4.- Las fases presentes en el material colado en molde permanente son: α , η y ϵ .**
 - 5.- La fase η en la barra enfriada rápidamente es más resistente por la mayor cercanía entre los planos (0002), celda HCP.**
- De los resultados obtenidos en este trabajo se puede concluir que el objetivo que se buscaba era evaluar las estructuras y propiedades mecánicas de barras de Zinalco obtenidas en molde permanente trabajando en condiciones reales de laboratorio, lo cual se concluye con resultados favorables.**

BIBLIOGRAFIA.-

- 1.- Recent Advance in Science, Technology and Applications of Zn - Al Alloys.**
G.Torres Villaseñor
Yaohua Zhu
C.Piña Barba.

- 2.- Zinalco**
G.Torres Villaseñor
Instituto de Materiales. C.U.
Agosto 1990, México D.F.

- 3.- Materiales y Proceso de Fabricación.**
"Industria Metalmeccánica y de Plásticos"
Harry D.Moore
Donald R.Kibbey
Edt: Limusa Noriega editores.

- 4.- Procesos para Ingeniería de Manufactura**
Leo Alting
Alfa Omega
1990, México D.F.

- 5.- Tecnología de los Metales**
A.Malishev, G.Nikolaiev, Y.Shuvalov
Edt: Mir.

- 6.- Revista Mexicana de Física**
Enero - Marzo, 1991
Sociedad Mexicana de Física.

- 7.- Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones**
Richard Aloysius Flinn
Mc.Graw-Hill.

- 8.- La ciencia e Ingeniería
de los materiales
Donald R. Askeland
Grupo Editorial Iberoamérica.**
- 9.- Yao H. Zhu "Creep Induced Phase Transformations in
Cast Al - Zn Alloys"
Journal of Materials Science Letters
15 (1996) 1358 - 1360.**
- 10.- Yao H. Zhu, J. Juárez Islas "Tensile Stress Induced Phase
Transformations in Zn - Al Alloys"
Journal of Materials Science and Technology
Vol 13, 1997.**
- 11.- Yao H. Zhu "Tensile Stress Induced Microstructural Change
and Transformations in Extruded Zn - Al Alloys"
Journal of Materials
Science Letters 15 (1996) págs. 1888 - 1890.**

APENDICE A

Indices de los planos de difracción para las estructuras cúbica y hexagonal.

ESTRUCTURA CI	ESTRUCTURA CF	ESTRUCTURA HC
{110}	{111}	{0002}
{220}	{200}	{10T0}
{211}	{220}	{10T1}
{220}	{311}	{10T2}
{310}	{222}	{11T0}
{222}	{400}	{11T2}
{321}	{331}	{20T0}
{400}	{420}	{02T1}
{330}		
{411}		
{420}		
{332}		