

18



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

TRATAMIENTO TÉRMICO DE ESTABILIZACIÓN
APLICADO A LA ALEACIÓN COMERCIAL ZINALCO
COLADA EN MOLDE PERMANENTE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A .

JOSÉ ANTONIO COLÍN MARTÍNEZ

Handwritten signature: J. A. Colín Martínez

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

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX. 2000



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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).

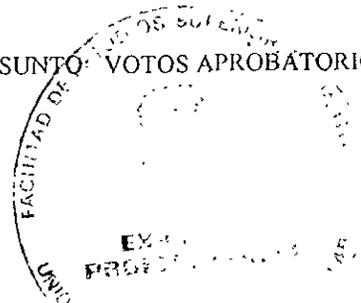
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS.

"Tratamiento Térmico de Estabilización a Baja Temperatura Aplicado a la Aleación Comercial Zincolco Coleada en molde Permanente."

que presenta el pasante José Antonio Colín Martínez con número de cuenta 880906-9 para obtener el TITULO de Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo de Méx, a de Diciembre de 1997

PRESIDENTE Ing. Gerardo Mora

VOCAL Ing. Enrique Cortés González

SECRETARIO M.I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez

PRIMER SUPLENTE Lic. Jesús García Lira

SEGUNDO SUPLENTE Lic. Guillermo Santos Olmos

DEDICATORIAS

A mis padres:

Por que el sacrificio que día a día tuvieron que realizar por mí no se puede comparar con el de nadie más y así poder llegar hasta donde ahora me encuentro , sino como una muestra de amor, cariño y profundo agradecimiento.

A mis hermanos:

Por haber compartido cada momento de sus vidas y apoyo sin limite, y que para que la unidad permanezca a través de las circunstancias y el tiempo.

A mis amigos (as):

Por haber compartido todos los amargos y bellos momentos, como una segunda familia durante esta etapa de mi vida.

A mi esposa:

Por el cariño y comprensión que me brindo durante la realización de este trabajo , que marca el fin de una etapa y el inicio de otra para ambos.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan de la Universidad Nacional Autónoma de México, que me dió la oportunidad de realizar y culminar mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor:

Maestro en Ingeniería **Felipe Díaz del Castillo Rodríguez** gracias a su apoyo y paciencia que me brindo para llegar con éxito al término de este trabajo, "**Muchas Gracias**".

"**Gracias**" a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron a la realización de este trabajo, por que sin su valiosa ayuda no hubiera sido posible lograrlo, especialmente.

Al Dr. **Jaime Hinojosa Torres** quién dió todas las facilidades y apoyo para la elaboración de los Difractogramas que se incluyen en este trabajo.

Agradezco de todo corazón a todos los **profesores** que directamente e indirectamente se vieron involucrados en mi formación profesional; a todos ellos "**Gracias**".

A todos ellos les dedico esta Tesis que con cariño presento:

José Antonio Colín Martínez.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
---------------------	----------

CAPITULO 1

ANTECEDENTES	2
---------------------	----------

CAPITULO 2

EL ZINALCO	4
-------------------	----------

2.1 ¿Qué es el Zinálco ?	4
--------------------------	---

2.2 Propiedades físicas y Químicas	5
------------------------------------	---

2.3 Microestructura	7
---------------------	---

2.4 Deformación del Zinálco	8
-----------------------------	---

2.5 Aplicaciones	8
------------------	---

CAPITULO 3

FUNDICIÓN EN MOLDE PERMANENTE .

3.1 Generalidades	10
-------------------	----

3.2 Colado en moldes permanentes	10
----------------------------------	----

3.3 Metalurgia	12
----------------	----

CAPITULO 4

EXPERIMENTACIÓN

4.1 Fundición	16
---------------	----

4.2 Colada en molde permanente	17
--------------------------------	----

4.3 Preparación de las probetas	19
---------------------------------	----

4.4 Ataque químico	20
--------------------	----

4.5 Tratamiento térmico	21
4.6 Microscopía Óptica	24
4.7 Dureza	27
4.8 Rayos X	29
CONCLUSIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	40

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de tesis se pretende realizar un estudio de las características de las propiedades mecánicas del Zinalco , derivadas de las variaciones en su microestructura, como consecuencia de un determinado proceso de fundición y tratamiento térmico.

Para ello se van a preparar las barras de trabajo, utilizando el método de colada en molde permanente; posteriormente serán sometidas a tratamiento térmico en condiciones diferentes de tiempo a una misma temperatura; continuando con la preparación de las muestras metalográficas en número y forma, para observar su microestructura a través del microscopio y poder caracterizarla; además de medir su dureza en el laboratorio, para finalmente emitir un juicio del comportamiento del material mencionado, cuando se somete a las variaciones térmicas en función del tiempo.

OBJETIVO.

- 1) Aplicar un *tratamiento de estabilización a baja temperatura* a la aleación comercial ZINALCO colada en molde permanente.
- 2) Analizar la variación de la microestructura y dureza en función del tiempo de *tratamiento térmico*.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

A mediados de la década de los 70's da inicio un programa de investigación en el Instituto de Investigaciones de Materiales de la UNAM sobre las propiedades del zinc y sus aleaciones, con el objeto de desarrollar nuevos campos de aplicaciones para este metal, del cuál México es productor y evitar su desplazamiento por los plásticos y el aluminio. Los resultados de las investigaciones condujeron al desarrollo del Zinalco (MR) , el cuál además de tener aplicaciones en la rama de la fundición , también puede incursionar en el campo de la extrucción, en el de la forja y en el de la laminación .

El Zinalco ocupa un lugar intermedio 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 cuál 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 de bajo 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 Zinalco ha estado sujeto durante los últimos años, a un continuo y severo programa de caracterización de propiedades tanto en la industria como en el laboratorio. En la caracterización básica, han participado laboratorios tanto de la UNAM como fuera de ella, varios de ellos en forma independiente como en el

Instituto de Investigaciones Eléctricas, El Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del IPN , La Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN , El departamento de Metalurgia de la Facultad de Química de la UNAM , y el Instituto de Metalurgia de la UASLP.

Gracias a estas investigaciones se han formado una imagen real acerca de las propiedades del Zinalco, y se conocen los alcances y limitaciones de esta aleación.

CAPITULO 2

EL ZINALCO

2.1 ¿ Qué es el Zinalco ?

El Zinalco es básicamente la aleación eutéctode Al - Zn , modificada con cobre y con adiciones de magnesio o cadmio, que permiten graduar sus propiedades dependiendo de la aplicación a la que se les destine. Esto da origen a las denominaciones Zinalco I , II ó III , dejando en libertad esta notación para aumentar la familia. Las aleaciones recomendadas para fundición son la I y la II, las cuales tienen propiedades físicas y mecánicas que se pueden comparar favorablemente con las de la fundición gris, latones y aleaciones de aluminio. Sus propiedades físicas principales caracterizadas hasta ahora se muestran en la tabla I.

TABLA 1

Propiedades mecánicas del Zinalco colado en molde de arena.

PROPIEDADES MECÁNICAS	ZINALCO I	ZINALCO II
Resistencia máxima en tracción	300 MPa	370 MPa
Esfuerzo de cedencia o fluencia	250 MPa	350 MPa
Alargamiento en 50 mm	10 - 12%	3 - 5%
Dureza R.B.	55	60 - 65
Resiliencia (con muesca)	10 -15 J	5 - 8 J
Modulo Elástico	100 GPa	100 GPa

2.2 Propiedades físicas y químicas

Una de las propiedades más sorprendentes de esta aleación es la de comportarse como un plástico a una temperatura de 0.5 a 0.6 de su temperatura de fusión (en Kelvin) y de comportarse como un acero a temperatura ambiente. Esta propiedad denominada "Superplasticidad" , se origina de un mecanismo de deformación en el cual los granos que componen el metal se resbalan uno sobre otro en lugar de utilizar el mecanismo de dislocaciones que es el mecanismo clásico por el cual los metales de uso ingenieril, se deforman.

Los esfuerzos dedicados a la investigación y desarrollo de esta aleación han conducido a la acumulación de un sinnúmero 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 que consiste en una gran capacidad de deformación plástica mayor al 200% que presenta durante una prueba de tensión, esto hace el Zinalco se convierta en un metal emparentado con los plásticos.

Para obtener la condición superplástica es necesario inducir por medio de tratamiento térmico, una estructura de granos ultrafinos, que es la responsable de este comportamiento tan especial de la aleación.

Los tratamientos térmicos, cambian las fases que se forman durante la solidificación, ya que éstas no son las fases estables. Un revenido, por debajo de la temperatura eutéctide seguido de un temple en agua aumenta la resistencia a la tracción hasta 500 MPa. Un tratamiento de homogeneización arriba de la temperatura eutéctide seguido de un enfriamiento lento nos

Proporciona mayor ductilidad y mayor resistencia a la fluencia lenta (creep). Un revenido a 320 °C, seguido de un enfriamiento lento, estabiliza la estructura en toda la muestra, dando por resultado una estructura perlitica, semejante a la de los aceros, la cual mejora la ductilidad del material.

Las propiedades mecánicas del Zinalco I son muy sensibles a la temperatura, por lo cual no se recomienda para usos arriba de los 90 °C ,las propiedades del Zinalco II son más estables y permiten el uso de la aleación hasta una temperatura de 130°C . Su dureza es superior a las aleaciones de aluminio y cobre , y es ligeramente menor a las del hierro fundido maleable.

Como se puede notar en la Tabla 2 , el Zinalco tiene un intervalo de solidificación bastante amplio (421 a 481°C). El bajo punto de fusión de esta aleación, en comparación con el aluminio , el latón, el bronce ó el hierro de fundición, permite ahorros considerables de energía.

TABLA 2

Propiedades físicas del Zinalco.

" PROPIEDADES DEL ZINALCO"	
Temperatura de fusión	421 - 481°C
Densidad	5.4 g / cm ³
Modulo elástico	100 GPa
Conductividad Eléctrica	5.9 X10 ⁻⁶ OHM/cm (37% del Cu)
Conductividad térmica	125.5 W / m°K (37% del Cu)
Coefficiente de expansión Térmica	26 μm / m °K.

La densidad de la aleación coloca a la aleación en una posición intermedia entre el acero y el aluminio, comparativamente es 18% más ligera que el Zamak, la cual es la aleación más conocida de zinc para fundición; 30% más ligera que el hierro de fundición; 40% más ligera que el latón y pesa el doble que el aluminio. Su coeficiente de expansión térmica, el cual reviste importancia en situaciones tales como ajustes de ventanas o fundiciones a presión, es muy similar al mostrado por el aluminio ($26 \mu\text{m} / \text{m} \text{ } ^\circ\text{K}$).

2.3 Microestructura

Básicamente, el Zinalco tiene una microestructura compuesta de 2 fases. La fase α es aluminio con menos del 1% del zinc disuelto y la fase η , es zinc con menos del 0.5% de aluminio disuelto y en ambas fases hay una cierta cantidad de cobre, no bien determinada, que también se encuentra en solución. La forma geométrica que toman estas fases depende de la trayectoria seguida durante el enfriamiento a partir de una temperatura superior a 280°C pero inferior a 420°C , que es la región en donde el Zinalco adquiere una estructura atómica idéntica a la del aluminio (cúbica centrada en las caras) que se conoce como fase β . Si se enfría rápidamente la estructura resultante está formada por granos finos de fase α y η , mientras que si se enfría lentamente las fases α y η se arreglan en forma de laminillas alternadas dando una estructura "perlítica" similar a la observada en los aceros.

En ambos casos los granos o las laminillas son tan finos que solo son observables con la ayuda de técnicas de microscopía electrónica. Su ancho, o diámetro, es menor a 3 micrómetros.

En un metal normal como aluminio, el cobre o el acero, la variación del esfuerzo con la rapidez de deformación es lineal con una pendiente menor a 0.1 , lo cuál refleja un solo mecanismo de deformación ¿Dislocaciones ? ; a cualquier rapidez de deformación.

2.4 Deformación del Zinalco

La aleación binaria Zn-Al con composición eutécticoide es superplástica a temperaturas altas (200°C) y frágil a temperatura ambiente; sin embargo, al ser modificada con cobre (Zinalco) se observa un incremento impresionante en la ductilidad a temperatura ambiente (de 10 a 180%). Las cantidades de cobre introducidas para dar este efecto se encuentran dentro de la región de la solubilidad sólida (menores a 2.5%), y prácticamente no afectan las temperaturas de transición mostradas por el diagrama binario Zn-Al.

2.5 Aplicaciones

Por sus propiedades el Zinalco es usado en una gran variedad de cosas, pasa a ocupar parte de los lugares donde estaba presente el aluminio, como son los casos de cancelería en la industria de la construcción; latón, bronce para artículos de ornamenta y partes industriales, así como para la producción de mobiliario de oficinas donde se utilizaban algunos aceros, y aleaciones de aluminio.

Por sus características el Zinalco puede ser trabajado mediante los mismos procesos utilizados para producir formas geométricas de acero y aluminio, es decir el conformado del material. Algunas de las aplicaciones que se pueden mencionar son:

- Estructural: perfiles estruídos.
 - Autopartes: engranes, carburadores, bombas, partes para transmisión, rines, etc.
 - Cerrajería: llaves estruídas e inyectadas.
 - Construcción: láminas para techos, intersecciones estructurales, pisos falsos, etc.
 - Control de fluidos: Válvulas, filtros, reguladores.
 - Instalaciones eléctricas: Condulets, cajas, soporteria del cable, gabinetes, etc.
- Transporte colectivo: Puntera negativa, bielas, portazapatas, Zinaport I y II
Zinalco artístico y decorativo.

Actualmente se realizan investigaciones en el Instituto de Materiales de la UNAM y otros lugares de la misma UNAM y fuera de ella; acerca de las propiedades de este material como es la superplasticidad que en futuro inmediato nos permitan asegurar una mayor aplicación en campos donde hasta ahora no ha entrado a formar parte el Zinalco.

CAPITULO 3

FUNDICIÓN EN MOLDE PERMANENTE .

3.1 Generalidades

Los procesos en que se emplean moldes metálicos son el vaciado en moldes permanentes y en la fundición a presión. Aunque también se aplica a otras clases moldes, por ejemplo en: el colado centrifugo se realiza muchas veces con moldes metálicos.

El colado en moldes metálicos esta confinado prácticamente a los metales con temperaturas de fusión bajas hasta moderadas. Unos pocos trabajos de vaciado de hierro y acero se hace en moldes metálicos refractarios.

3.2.- Colado en moldes permanentes

Cuando un metal fluido se cuela en moldes metálicos y se somete exclusivamente al efecto de la presión atmosférica, se conoce como colada en molde permanente. El molde se separa en dos o más piezas para descubrir la pieza vaciada cuando se solidifica y se mantiene unida durante la operación por medio de prensas, palancas acodilladas u otros mecanismos. Los metales que se cuelean comúnmente de esta manera son aleaciones de plomo, zinc, aluminio y magnesio, ciertos tipos de bronce y hierro colado.

El peso de estas piezas vaciadas fluctúa desde unas cuantas onzas (1 onza = 28.35 g) hasta unos 130 kg (300 lb) ó más , pesando la mayoría de las piezas menos de 22.7 kg (50 lb).

La mayoría de los moldes permanentes están hechos de una aleación de hierro colado de grano fino, como la mecanita, por ejemplo, que es resistente al calor y a los cambios de temperatura repetidos. A veces se usan moldes de bronce, estaño, zinc y moldes de aleación de acero forjado para bronces. Los corazones se hacen ordinariamente de acero, pero pueden ser de arena ó yeso para servicio pesado. Los moldes y los corazones se lavan con una lechada refractaria adhesiva constituida básicamente por grafito, caolín, o blanco de España o yeso. Esta operación ayuda a los moldes que se les adhieran las piezas vaciadas, facilita la expulsión de la pieza y prolonga la vida útil de los dados. La vida útil de los moldes puede durar desde 300 hasta 10000 coladas de hierro, o hasta para 100 000 piezas de algún metal más blando.

La colada en molde permanente se hace a mano frecuentemente, pero esta operación se puede automatizar fácilmente. El molde metálico, que reproduce la configuración exterior de la pieza, se hace de dos mitades 1 y 2.

Los moldes metálicos para colar piezas de aleaciones ligeras se producen principalmente de aceros aleados. El enfriamiento del molde durante el trabajo es, generalmente, natural. Se emplean también coquillas mecanizadas con enfriamiento forzado o calentamiento eléctrico local, con objeto de regular la temperatura de distintas partes del molde.

Las piezas obtenidas en moldes metálicos tienen una estructura de grano fino y propiedades elevadas; pero debido al enfriamiento rápido, en las capas superficiales de las piezas surgen tensiones, y en las piezas de fundición se

crea una capa emblanquecida. Por esta razón, las piezas que se obtienen en este tipo de molde se someten a recocido.

3.3 .- Metalurgia

La composición química del Zinalco es aproximadamente 76% Zn, 22% Al y 2% de cobre, por lo que el zinc es solvente y el cobre y el aluminio son el soluto. El zinc cuenta con una estructura cristalina tipo HCP y el aluminio presenta una estructura cristalina tipo FCC, además ambos presentan un radio atómico semejante, por lo que propician la formación de soluciones sólidas. En los siguientes renglones se hace un análisis del diagrama de equilibrio Zn-Al.

El diagrama Zn-Al (figura 3.1) es un sistema con un límite de solubilidad en el estado sólido. La solución sólida rica en aluminio se denota como α ó α' en el lado de aluminio y como β en el lado del zinc.

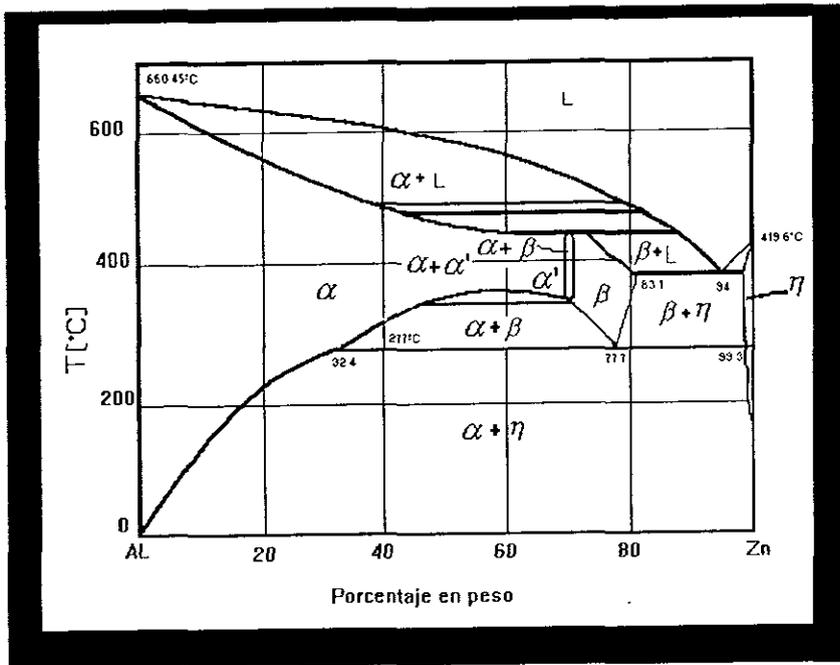


Figura.3.1 Diagrama de equilibrio de fases, para el sistema Al - Zn (según Presnyakov et. al.)

Las principales transformaciones en la solidificación en este diagrama son las reacciones mostradas en la tabla 3.

TABLA 3 .

Reacciones producidas en el diagrama de equilibrio Zn-Al

Reacción	Composición % Zn	Temperatura °C	Tipo de reacción
$L \rightarrow \eta + \beta$	94 83.1 98.5	381	Eutéctica
$\beta \rightarrow \alpha + \eta$	77.7 32.4 99.3	277	Eutectoide
$Al \rightarrow \alpha + \alpha'$	62	351.5	Crítica
$L \Leftrightarrow \alpha$	0	660.452	Congruente
$L \Leftrightarrow \eta$	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 eutética.

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

La solución sólida supersaturada 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 o aglomerados), tales como: zonas 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 α' .

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

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 medio de solidificación rápida.

CAPITULO 4

EXPERIMENTACIÓN

4.1 - Fundición.

La fundición o colada, es el proceso de formar objetos vertiendo un líquido o material viscoso en un molde o forma preparados. Un colado es un objeto formado al permitir que el material solidifique. Una fundición es una colección de los materiales necesarios y el equipo para producir un colado. Un molde es un recipiente que tiene la cavidad de la forma que va a colarse donde será vertido el material en forma líquida.

El material y equipo requerido para la colada fue el siguiente:

- 1) Guantes de asbesto
- 2) Pinzas o tenazas
- 3) Un horno eléctrico portátil
- 4) Polvo fino de grafito
- 5) Trocitos de Zinalco de 1/4" de diámetro por 1"

Primeramente se requirió un horno eléctrico portátil y de un crisol de grafito. Luego, se procedió a encender el horno, y se determinó en el control del mismo la temperatura requerida de 704.44°C (temperatura de fundición utilizada) para nuestro proceso.

Mientras el horno alcanzaba la temperatura requerida, se realizó la preparación del molde, al cual en su parte interior se recubrió con polvo fino de grafito de tal modo que se estableciera una capa del mismo en las paredes;

Esto con la finalidad de obtener una mejor colada, ya que dicho polvo evita la adherencia de la pieza al molde y en el momento de retirarlo se hace con facilidad.

El material a fundir tenía una presentación de barritas de 1/4" por 1" de longitud. Posteriormente se introdujeron en nuestro crisol, para luego esperar a que se alcanzara la temperatura de fundición antes mencionada de 704.44 °C.

4.2 Colada en molde permanente

Se utilizó el método de colada continua en molde permanente. El material de nuestro molde es acero 1020 con las características y dimensiones mostradas en la figura 4.1

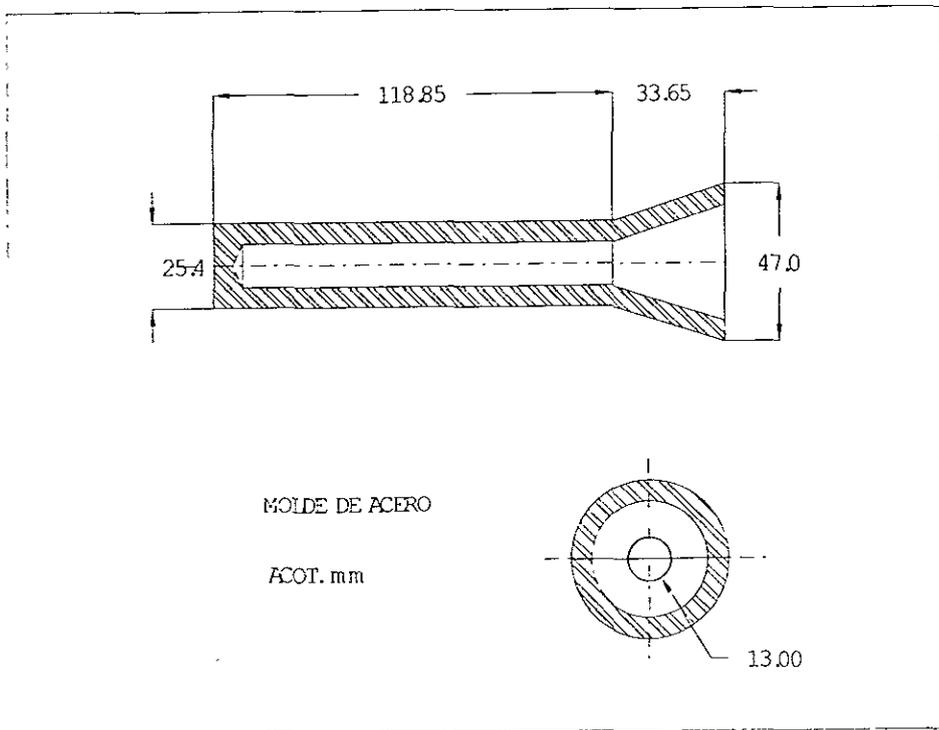


Figura. 4.1 Molde permanente de acero 1020.

Se utilizaron un par de abrazaderas para mantener cerrado lo mejor posible al molde (que se compone de dos partes).

Una vez teniendo todo listo, el molde ensamblado y el material Zinalco a temperatura de colada, se procedió a realizar la colada rápidamente, para lo cual nos ayudamos de un par de tenazas para sujetar el crisol y realizar la colada la cual nos llevo unos cuantos segundos.

Después de la colada se dejó que las condiciones de enfriamiento para nuestra colada fuésen única y exclusivamente las que determina el medio ambiente.

Se dejaron las barras obtenidas en el interior del molde hasta que el material alcanzo la temperatura del medio ambiente, (Figura 4.2)se procedió a retirar el material del molde, haciendo uso de un desarmador en las muescas dejadas en el molde que sirven para separarlo. Este proceso se repitió una segunda vez para obtener otra probeta similar.

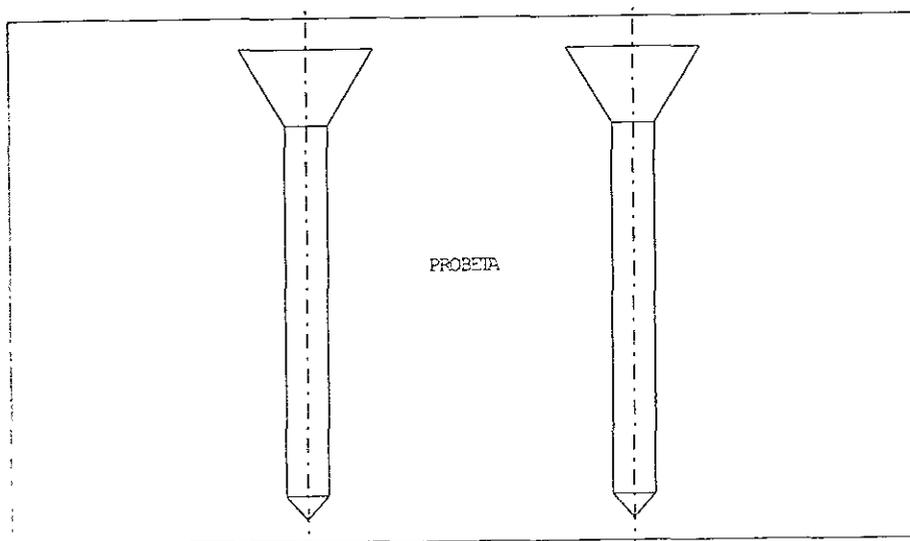


Figura 4.2 Obtención de probetas.

4.3 .- Preparación de las probetas

Material y equipo utilizado:

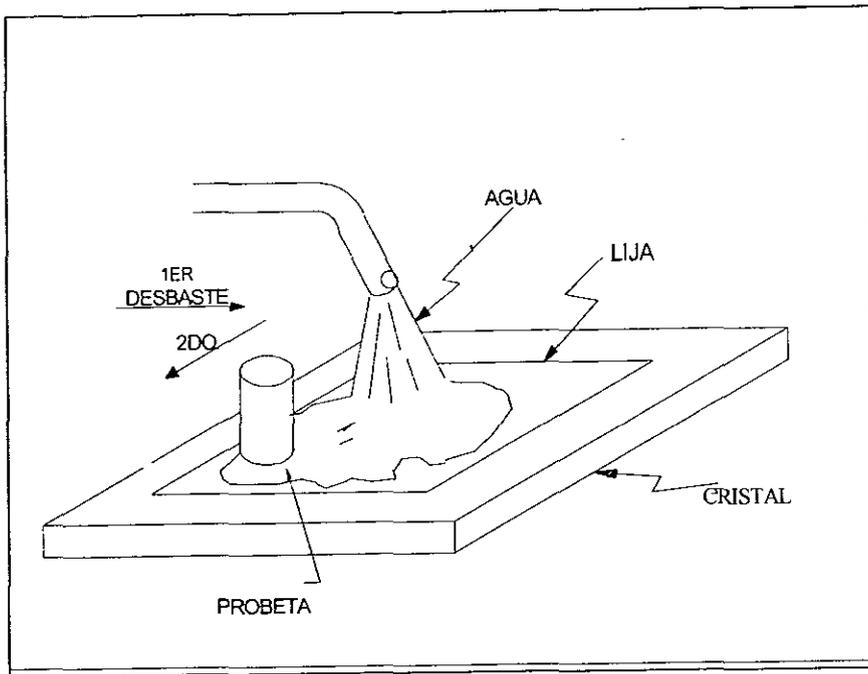
- 1) Cortadora de disco abrasivo.
- 2) Papel para desbaste (lijas) de los siguientes números 220, 360, 400, 500 y 600.

Se realizaron cortes en las barras obtenidas mediante el proceso de colada en molde permanente, para obtener 5 probetas de tamaño similar de cada barra; el equipo utilizado en este proceso fué una cortadora de disco eléctrica con adición de liquido refrigerante de corte.

Luego se dio inicio al proceso para la preparación de muestras metalográficas del siguiente modo:

Después de haber sido cortadas las probetas con el disco abrasivo, se utilizó una lija del número 220 para desbastar una de las caras de cada probeta, hasta obtener una superficie uniforme, posteriormente se giró 90° respecto a dicha dirección y se utilizó una lija del número 360 para desbastar la superficie hasta desaparecer las rayas anteriores, a continuación se hizo lo mismo para cada uno de los números restantes de lija 400, 500 y 600.

Cada uno de los desbastes se realizó en presencia constante de agua y sobre una superficie plana,(para cada una de las probetas) como se muestra en la figura4.3

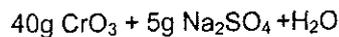


.Figura. 4.3 .- Preparación de muestras.

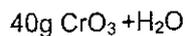
Finalmente el pulido de nuestras probetas, se llevó a cabo con ayuda de una pulidora eléctrica y adicionando polvo de alúmina (Al_2O_3) a la superficie del plato pulidor que esta cubierto con un paño fino de lana y se agregó agua de manera constante para darle el acabado espejo deseado ; de igual forma se estableció un ángulo entre el ultimo desbaste y el de la alúmina como agente abrasivo.

4.4 .- Ataque químico

Se utilizo una solución de 40 gramos de trióxido de cromo y 5 gramos de sulfato de sodio disueltos en 200 ml de agua, esto es:



como segunda solución tenemos 40g de Trióxido de cromo disuelto en 200 ml de agua así



La manera en que se realizó el ataque químico fue la siguiente :

Se tomaron cada una de las probetas con unas pinzas y se introdujeron en la primer solución durante un lapso de tiempo de 30 segundos para inmediatamente enjuagarlas en la siguiente solución 5 segundos y posteriormente someterlas a un chorro de agua ; una vez realizado esto se humedeció un algodón con alcohol para limpiar las superficies atacadas con los agentes químicos y retirar el agua que pudiese quedar en ellas para finalmente secarlas con aire a presión.

4.5 Tratamiento térmico

Se hizo uso del material y equipo del laboratorio de tecnología de materiales que a continuación se describe:

- Pinzas o tenazas
- guantes de asbesto
- Mufla Sybron/ Thermolyne 2000 Furnace (figura. 4.4).

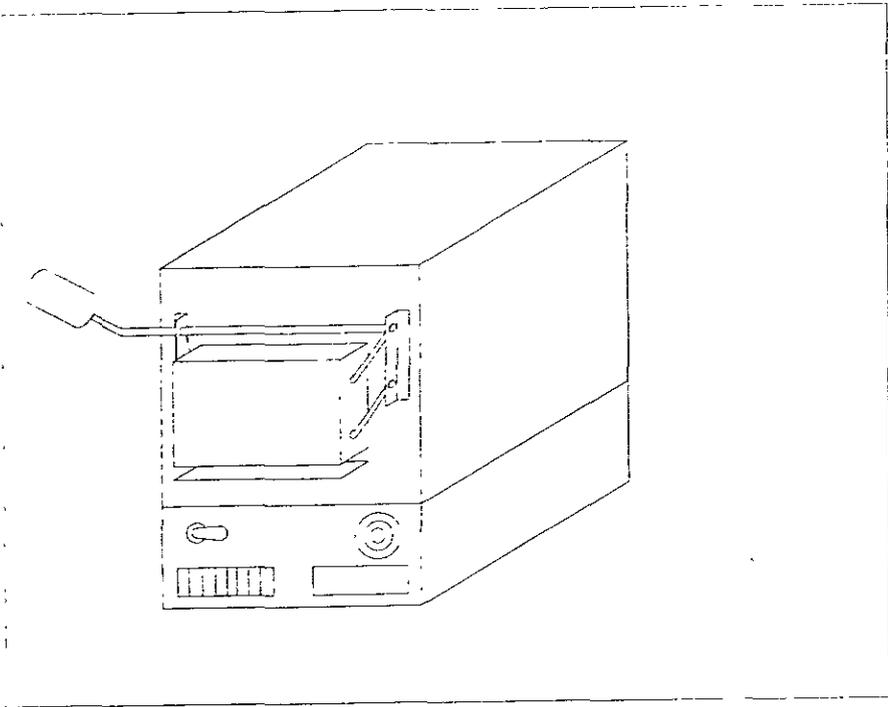


Figura. 4.4 Mufla para tratamientos térmicos

Una vez atacadas químicamente todas nuestras probetas se aplicó un tratamiento térmico de estabilización a excepción de una que no fué tratada , describiendo el tratamiento térmico de la siguiente manera :

Se encendió la mufla, preestableciendo la temperatura de 140 °C ; esperamos el calentamiento y normalización de operación por un lapso de 15 minutos. Se colocaron las probetas sobre una plataforma de material refractario para posteriormente introducirlas al interior de la mufla, que ya para entonces mantenía una temperatura de 140 °C.

Luego, se dejó transcurrir un tiempo de 30 minutos y se retiró la primer muestra del interior de la mufla dejándose enfriar a temperatura ambiente y marcándose con una etiqueta el número correspondiente al tiempo de tratamiento térmico; transcurrida una hora se retiro la segunda probeta del interior de la mufla. Este procedimiento fué realizado para los tiempos considerados de tratamiento térmico mostrados en la tabla 4.

TABLA 4.

Tiempos de tratamiento térmico realizado a las probetas.

Muestra No.	Tiempo de tratamiento térmico a 140°C
1	Sin tratamiento térmico
2	0.5 h.
3	1 h.
4	1.5 h.
5	2 h.
6	2.5 h.
7	3 h.
8	3.5 h.
9	4 h.
10	5 h.

Nota .-Temperatura ambiente 16 °C.

4.6 Microscopía óptica

Las muestras ya preparadas se observaron con ayuda de un microscopio óptico marca Unión , a 100 y a 400 aumentos.

La impresión de la imagen se realizó con ayuda de una cámara fotográfica integrada al microscopio y película de color con formato de 135 mm y una sensibilidad de 200 ASA.

Las imágenes obtenidas se muestran de la figura 4.5 a la figura 4.8 permiten observar la presencia de zonas interdendríticas constituidas por las fases α y η del sistema aluminio-zinc , así mismo se pueden apreciar dendritas que están formadas por la fase β y $\alpha + \eta$ producto de la descomposición eutécticoide de la fase β , también se puede decir que no se aprecia algún cambio considerable en la microestructura en las probetas tratadas térmicamente.

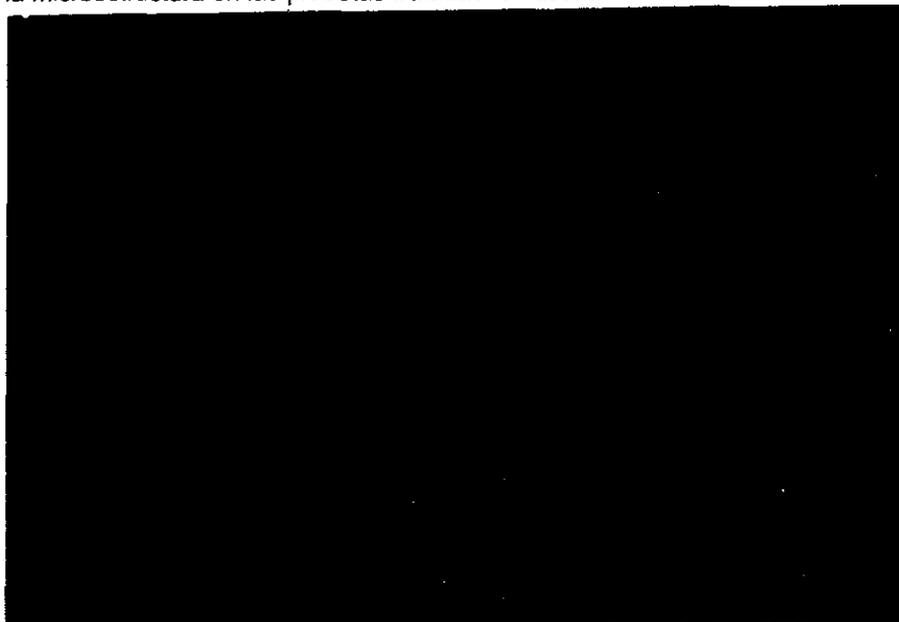


Figura. 4.5 Se muestran aspectos de las dendritas equiaxiales, en una muestra sin tratamiento térmico 400X.



Figura. 4.6 Se aprecian dendritas equiaxiales y zonas interdendríticas en una muestra con un tratamiento térmico de $\frac{1}{2}$ hora. 400X .

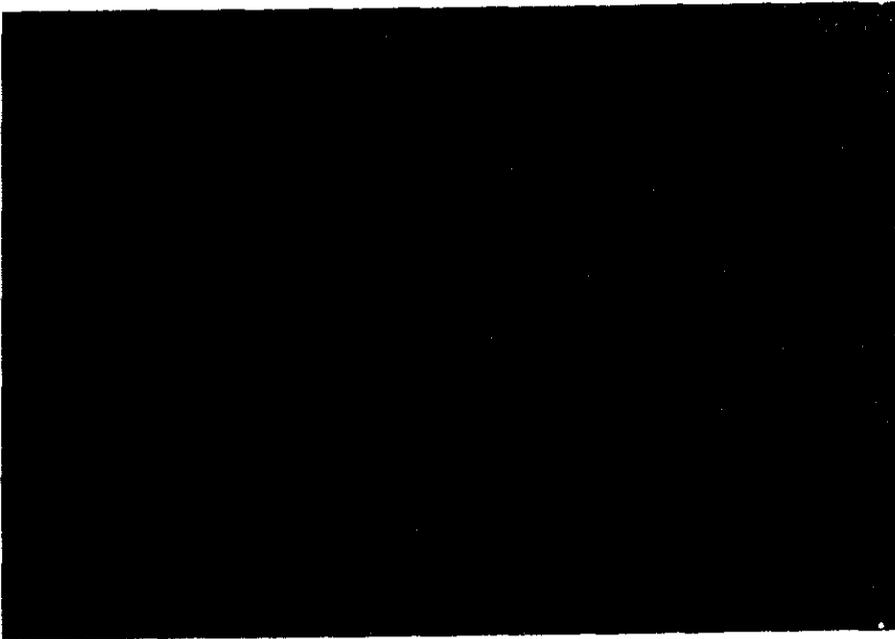


Figura. 4.7 Se aprecian dendritas equiaxiales y zonas interdendríticas en una muestra con un tratamiento térmico de 2 horas 400X.



Figura. 4.8 Se aprecian dendritas equiaxiales y zonas interdendríticas en una muestra con tratamiento térmico de 5 horas 400X.

4.7 Dureza

Cada una de las muestras fué sometida a medidas de dureza, empleando un durómetro Rockwell y la escala B (carga de 100 kg., e indentador de bola de 1/16 plg.). Dichas medidas se realizaron en distintos puntos de la sección transversal.

Los valores obtenidos se muestran en la tabla 5 y con los valores promedio se obtiene la gráfica que se muestra en la figura 4.9

TABLA 5.

Dureza de las probetas después del tratamiento térmico

Probeta número	lectura 1 RB	lectura 2 RB	lectura 3 RB	lectura 4 RB	lectura 5 RB	Promedio RB
1	64.5	67	66	65.5	66.5	65.7
2	65	67.5	57.5	65.5	51	61.3
3	70	72	73.5	72	73	72.1
4	63	67	65.5	66	66.5	65.6
5	72.5	75.5	72	74.5	74.5	73.8
6	67.5	69	71.5	70	72	70
7	67.5	73	73.5	74	74.5	72.5
8	61	65	58	67	57	61.6
9	62.5	68	67.5	68.5	60	65.3
10	68	67.5	56	67	71	65.9

Como se puede apreciar la dureza inicial de 65.7 RB. disminuye a 61.3 RB durante la primera media hora de tratamiento. Luego, se observó un aumento en la dureza en el intervalo de 1 a 3 horas, alcanzando valores máximos a las 2 y 3 horas de tratamiento. Por último, la dureza disminuye nuevamente en el intervalo de 3 a 5 horas.

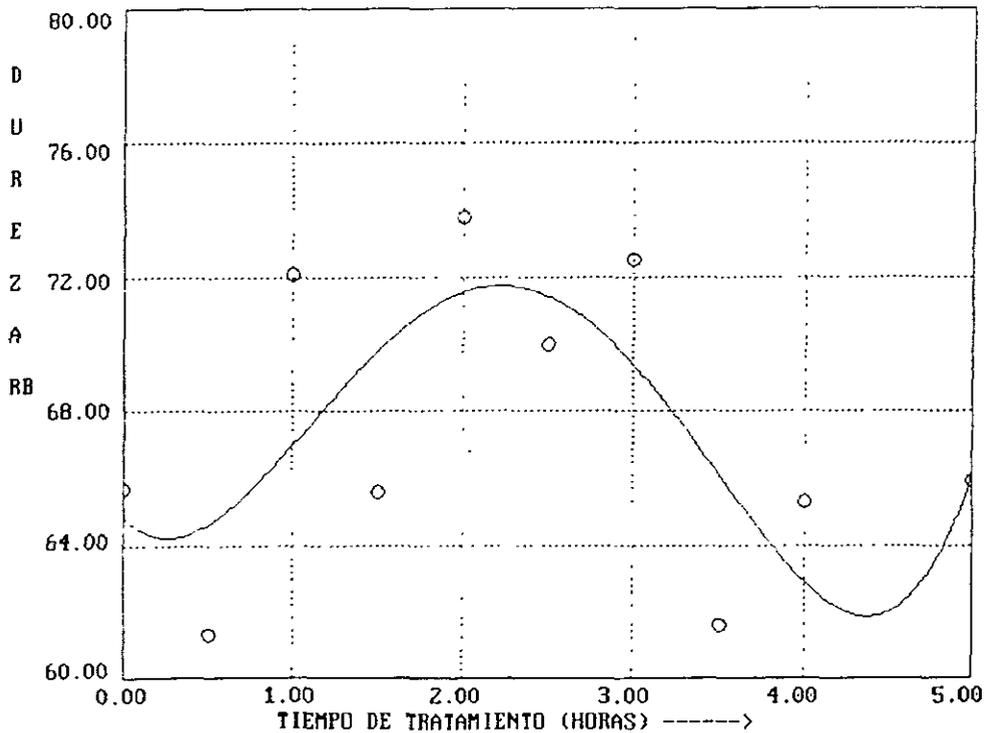


Figura. 4.9 Gráfica de los valores obtenidos de dureza en las muestras tratadas térmicamente.

4.8 RAYOS X

Los difractogramas obtenidos de las muestras seleccionadas se muestran de la figura 4.10 a la figura 4.13

Luego, apoyándonos en la bibliografía consultada ((9 -11)), y en la Ley de Bragg cuya ecuación establece lo siguiente:

$$d = (\lambda) / (2\text{sen}\theta)$$

donde:

d = Distancia interplanar de los planos de difracción.

λ = Longitud de onda del rayo X empleado.

θ = Ángulo de difracción.

Por otro lado, se sabe que para la geometría de la celda cúbica:

$$d = a / \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

y para la geometría de la celda hexagonal.

$$d = a / (1.333 (h^2 + hk + k^2) + l^2 + a^2/c^2)^{1/2}$$

donde:

a, c = Parámetros de red.

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

Se obtuvieron las tablas 6 , 7, 8 y 9.

De tal modo se puede decir que las fases presentes en la aleación estudiada son las fases α que es una fase rica en Al con estructura FCC y un parámetro de red $a=4.035 \text{ \AA}$.La fase η' , la cual es una fase metaestable rica en zinc con una estructura HCP y parámetros de red $a=2.664 \text{ \AA}$ y $c=4.884 \text{ \AA}$. También se detectó la presencia de la fase ϵ , la cual es el compuesto intermetálico CuZn_4

con una estructura HCP con parámetros de red $a=2.7616 \text{ \AA}$ y $c=4.29 \text{ \AA}$ Debe mencionarse que los picos presentes en los ángulos $2\theta=41.15^\circ$ y $2\theta=57.7^\circ$ corresponden a algún elemento de impureza que no es importante por el momento.

Por otro lado, se establece que la fase que la fase η' durante todos los tiempos de tratamiento no alcanza su relación de equilibrio (zinc puro) ($a=2.6648 \text{ \AA}$ y $c=4.9470 \text{ \AA}$) Posiblemente para tiempos mayores se alcanzó dicha condición. También, se notó un incremento en la presencia de la fase ϵ (establecida por la altura del pico difractado a un ángulo $2\theta \approx 37.6^\circ$) .Dicho incremento en la intensidad y consecuentemente su presencia dentro de la aleación podría explicar el endurecimiento de la aleación en el período de tratamiento de 1 a 3 horas.

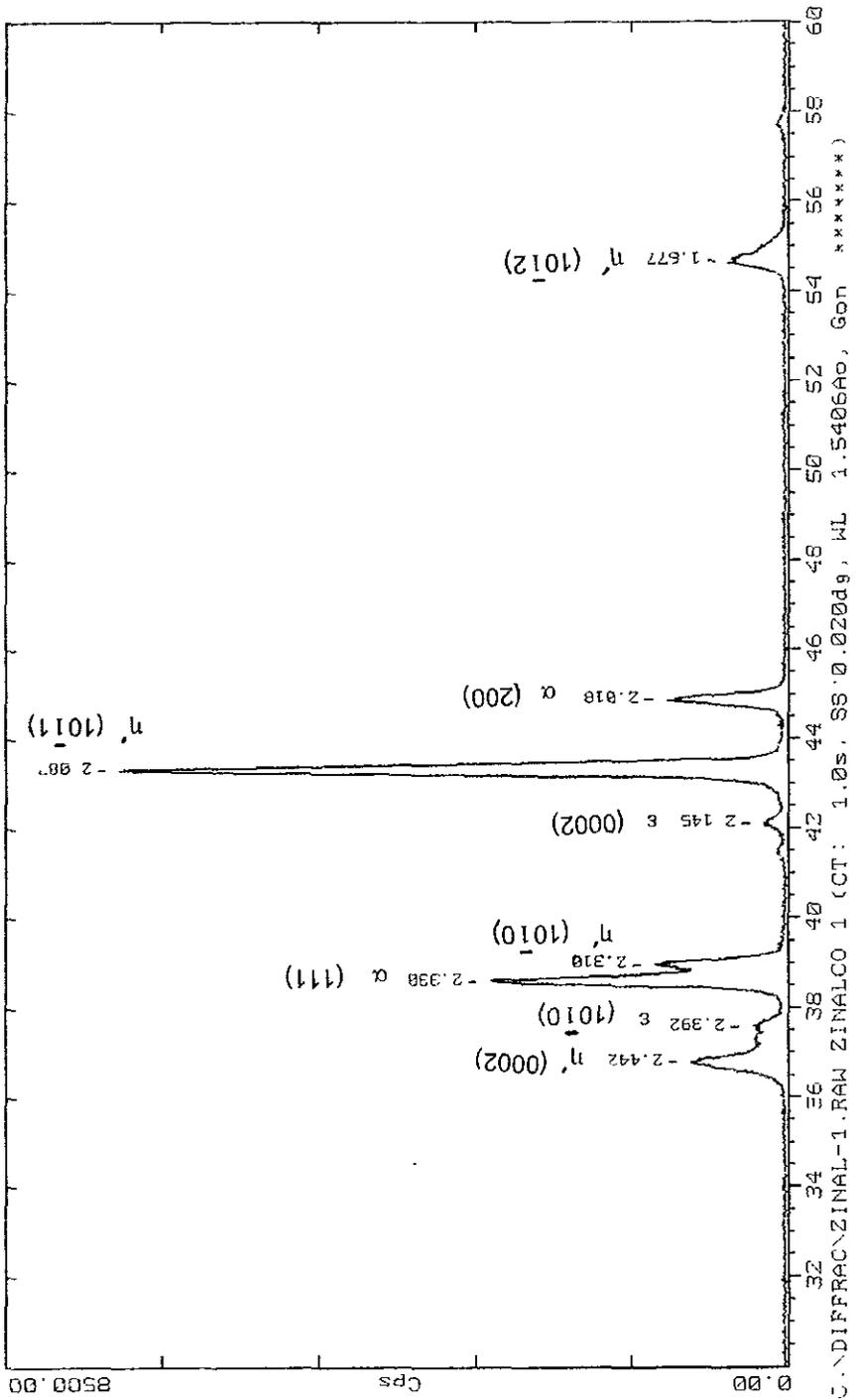


Figura 4.10 Difractograma de una muestra de Zn-22Al-2Cu (% en peso) sin tratamiento térmico

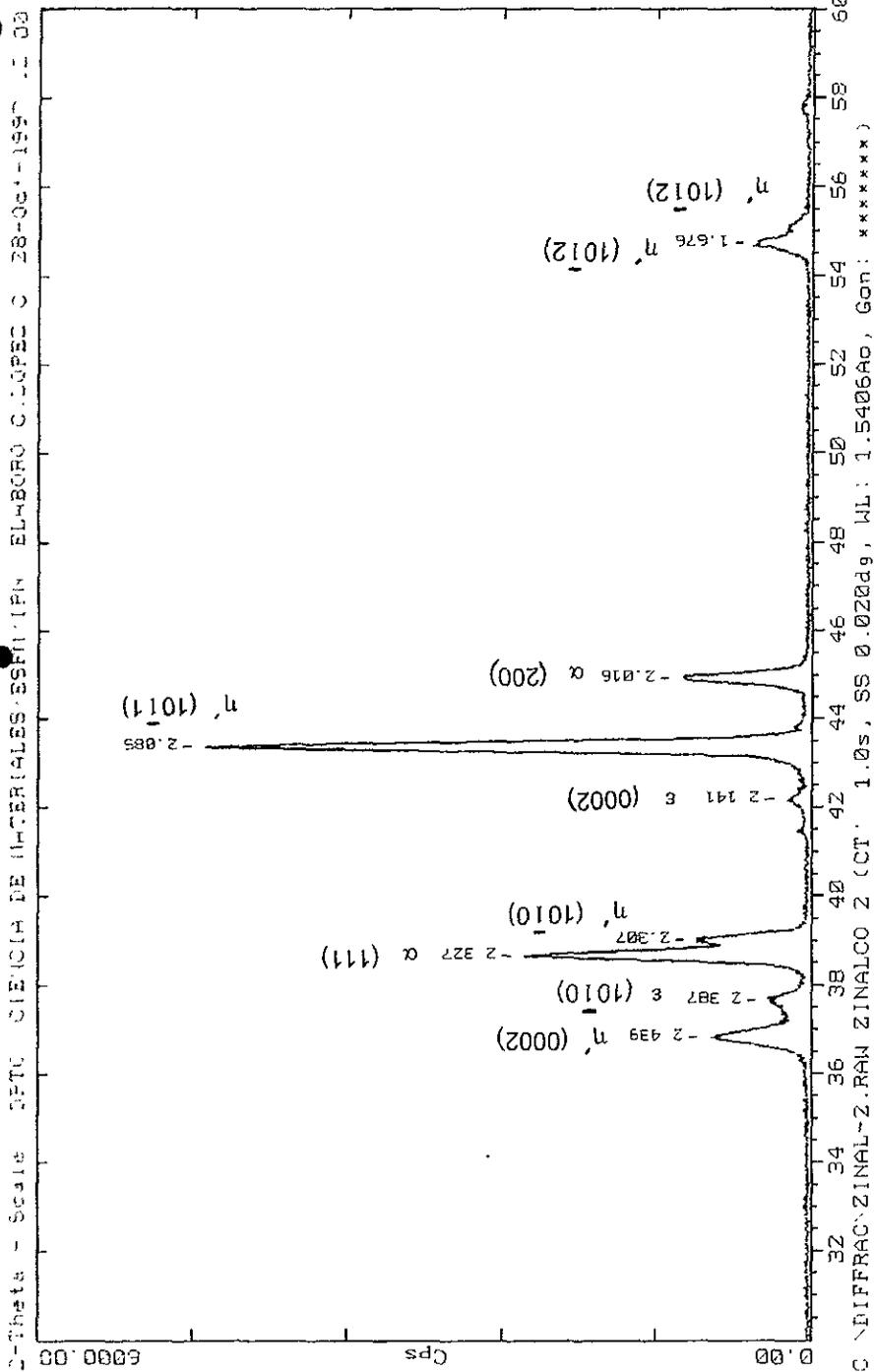


Figura 4.11 Difractograma de una muestra de Zn-22Al-2Cu (% en peso) Tratado térmicamente durante 0.5 horas a una temperatura de 140°C.

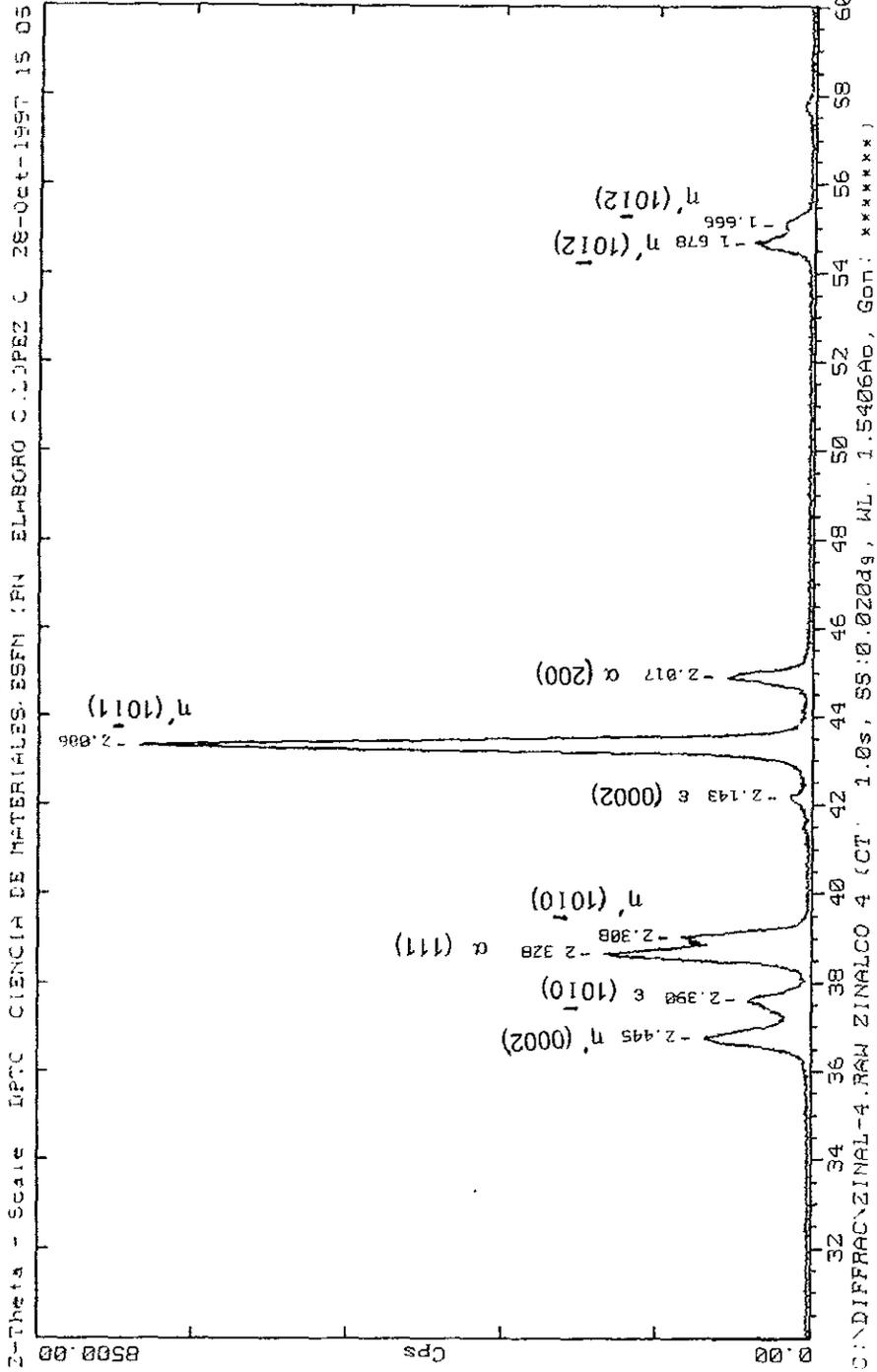


Figura 4.12 Difractograma de una muestra de Zn-22Al-2Cu (% en peso) Tratado térmicamente durante 2 horas a una temperatura de 140°C.

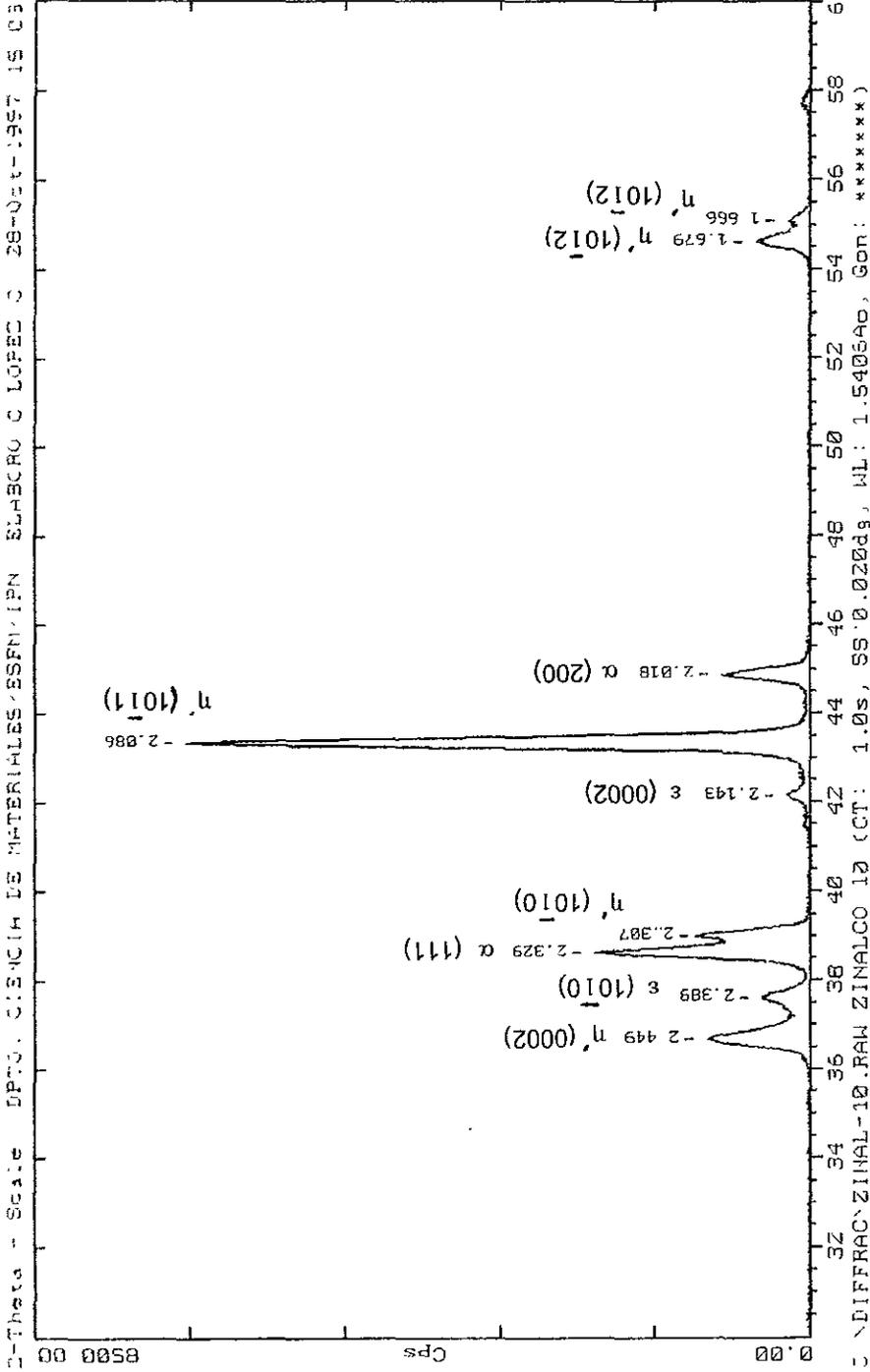


Figura 4.13 Difractograma de una muestra de Zn-22Al-2Cu (% en peso) Tratado térmicamente durante 5 horas a una temperatura de 140°C.

TABLA 6

Planos de difracción detectados en la muestra sin tratamiento térmico.

Pico	Ángulo 2θ (grados)	Distancia d interplanar (Å)	Fase	Plano
1	36.8	2.442	η'	(0002)
2	37.6	2.392	ϵ	$(10\bar{1}0)$ -
3	38.6	2.330	α	(111)
4	39	2.310	η'	$(10\bar{1}0)$
5	42.1	2.145	ϵ	(0002)
6	43.2	2.087	η'	$(10\bar{1}1)$
7	44.9	2.018	α	(200)
8	54.7	1.677	η'	$(10\bar{1}2)$

TABLA 7.

Planos de difracción detectados en la muestra tratada térmicamente durante 0.5 horas a 140°C.

Pico	Ángulo 2θ (grados)	Distancia (d) interplanar (Å)	Fase	Plano
1	36.8	2.439	η'	(0002)
2	37.65	2.387	ϵ	(10 $\bar{1}$ 0)
3	38.7	2.327	α	(111)
4	39	2.307	η'	(10 $\bar{1}$ 0)
5	42.2	2.141	ϵ	(0002)
6	43.4	2.085	η'	(10 $\bar{1}$ 1)
7	45	2.016	α	(200)
8	54.7	1.676	η'	(10 $\bar{1}$ 2)
9	55.1	1.666	η'	(10 $\bar{1}$ 2)

TABLA 8.

Planos de difracción detectados en la muestra tratada térmicamente durante 2 horas a 140°C.

Pico	Ángulo 2θ (grados)	Distancia d interplanar (Å)	Fase	Plano
1	36.7	2.445	η'	(0002)
2	37.6	2.390	ε	(10 $\bar{1}$ 0)
3	38.7	2.328	α	(111)
4	39.1	2.308	η'	(10 $\bar{1}$ 0)
5	42.2	2.143	ε	(0002)
6	43.4	2.086	η'	(10 $\bar{1}$ 1)
7	44.9	2.017	α	(200)
8	54.7	1.678	η'	(10 $\bar{1}$ 2)
9	55.1	1.666	η'	(10 $\bar{1}$ 2)

TABLA 9.

Planos de difracción detectados en la muestra tratada térmicamente durante 5 horas a 140°C.

Pico	Ángulo 2θ (grados)	Distancia (d) interplanar (Å)	Fase	Plano
1	36.6	2.449	η'	(0002)
2	37.6	2.389	ε	(10 $\bar{1}$ 0)
3	38.7	2.329	α	(111)
4	39	2.307	η'	(10 $\bar{1}$ 0)
5	42.2	2.143	ε	(0002)
6	43.4	2.086	η'	(10 $\bar{1}$ 1)
7	44.9	2.018	α	(200)
8	54.6	1.679	η'	(10 $\bar{1}$ 2)
9	55.1	1.666	η'	(10 $\bar{1}$ 2)

CONCLUSIONES

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Después del trabajo experimental realizado (microscopía óptica, mediciones de dureza y análisis mediante rayos X) se pueden establecer las conclusiones siguientes:

1. Las fases presentes en la aleación Zn-22 Al-2 Cu (% en peso) en molde permanente son α , η' , ϵ .
2. El tratamiento térmico a baja temperatura no propicia la estabilidad de la fase η' .
3. El tratamiento térmico aumentó la presencia de la fase ϵ .
4. La dureza de la aleación aumentó en 12.32% en el lapso de 1 a 3 horas de tratamiento térmico y disminuye en el intervalo de 3 a 5 horas.

Se puede establecer que este trabajo cumple con el objetivo de mostrar y difundir dentro de la comunidad académica e industrial el uso de esta aleación desarrollada en nuestro país, así mismo, se muestra que mediante diferentes procesos y tratamientos se puede mejorar sustancialmente sus propiedades mecánicas. Cabe destacar que el Zinalco propicia un ahorro importante de energía tan alto como 300 KW h /Kg con respecto al aluminio y sus aleaciones lo que conduce a un menor costo en su procesamiento .

Finalmente se concluye que la creación y desarrollo de aleaciones permite que continúe la revolución en el uso de estos . Además, permite aprovechar los recursos naturales de nuestro país

BIBLIOGRAFÍA

1.- Advances in Science, Technology and Applications of Zn-Alloys.

Phase Transformations of Eutectoid Zn-Al Alloys.

Edited by G. Torres Villaseñor

Y H.Zhu and C. Piña 1994

Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM

2.- Endurecimiento, Revenido y Tratamiento Térmico

Tubal Cain

Ed.G.G. / MÉXICO

3.- Procesos de Manufactura y Materiales Para Ingeniería

Lawrence E. Doyle

Ed. Diana

4.- Enciclopedia del Aluminio, Metalurgia Estructural del Aluminio Fusión y

Colada de Placas.

Pierre Barrant

Roberto Gadeau.

Ed. Urmo

5.- Zinalco Once Años de Investigaciones Sobre Esta Aleación

G. Torres Villaseñor 1979-1990

Instituto de Investigaciones en Materiales , UNAM.

6.- Efectos del Cu en la Estructura y Propiedades Mecánicas de la Aleación

Superplastica Zn-22% p Al .

Luis Valdés H ., Irma Estrada P., Jesús Negrete ., Gabriel Torres V.

Depto. de Ciencia de Materiales de la ESFM del IPN.

Instituto de Geología Instituto de Geología Metalurgia de la U.A.S.L.P.

Instituto de Investigaciones en Materiales UNAM.

7.- Materials And Manufacturing Processes Vol. 10, No. 4

Influence of the Structure and Temperature on Extrusion Pressure of an Zn-20
Al-2Cu Alloy.

8.- La Ciencia e Ingeniería de los Materiales

Donald R. Askeland

Ed. Iberoamericana.

9.- Creep Induced Phase Transformation in Cast Zn Al- Alloy

Y.H. ZHU

Instituto de Investigaciones en Materiales , UNAM.

Ed. Journal of Materials and Technology (pags. 1358-1360).

10.-Tensile Strees Induced Transformation in Zn-Al Alloy

Y.H.ZHU and J.Juárez Islas.

Instituto de Investigacion de Materiales, UNAM

Ed. Journal of Materials Sciencie and Technology Vol. 13 ,1997

11.- Tensile Stress Induced Microstructural Change and Phase Transformations
in Extruded Zn-Al Alloy.

YAO HUA ZHU.

Ed Journal Science and Technology.(pags. 1888-1890)

Instituto de Investigaciones en Materiales , UNAM

12.- Metalurgia Practica

F.A. Calvo.

Ed. Alhambra. 1972

13.- Tecnología de los Metales

A. Malishev , G. Nikolaiev

Ed. Limusa.

14.- The Theory of Metals and Alloys

Nevill Francis

Ed. MDTT.

15.- Metales Puros y sus Aleaciones

Roberto González Torres

Instituto Mexicano del Petróleo.