

10
Zej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

“ALEACION Zn-22AL2Cu (%PESO)
COLADO EN MOLDE DE YESO”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
GABRIEL CARBELLIDO OLAYA

ASESOR: M.I. FELIPE DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1999.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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).

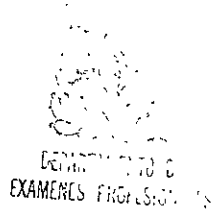
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E.

ATN.: Q. M. DEL CARMEN GARCIA MIJARES
JEFE DEL DEPARTAMENTO.

Con base al articulo 28 del Reglamento General de Exámenes,
nos permitimos comunicar a Usted que revisamos el TRABAJO
de tesis con el nombre de:

"Aleación Zn-22Al2Cu (% peso) colado en molde de yeso".

que presenta el pasante: CARBELLIDO OLAYA GABRIEL
con número de cuenta : 9130906-2 para obtener el Título de :

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

Considerando que dicho trabajo 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"

Cuatitlán Izc., México, a 2 de Febrero de 1999

Presidente	<u>ING. GERARDO SOSA</u>	
Vocal	<u>ING. ENRIQUE CORTES GONZALEZ</u>	
Secretario	<u>M.I. FELIPE DIAZ D CASTILLO RODRIGUEZ</u>	
1er. Sup.	<u>ING. SOCORRO CARMONA ESTRADA</u>	
2do. Sup.	<u>ING. GERARDO AARON MAYA GOMEZ</u>	

A MI PADRE (¡ PEPITO HIJO !) : POR HABER REALIZADO UN
ENORME ESFUERZO AL HABERME
HECHO UN UNIVERSITARIO Y
SIEMPRE PUGNAR POR SER EL
MEJOR Y SOBRESALIR SOBRE
TODOS LOS DEMÁS.

A MI MADRE (LA MEJOR MUJER) : POR HABERME
SOPORTADO EN TODO MOMENTO
Y POR HABERME DADO TODO TU
CARIÑO INCONDICIONALMENTE.

A MI HERMANA VERÓNICA : POR HABERME ENSEÑADO QUE
LAS COSAS SE CONSIGUEN A TRAVÉS
DE ESFUERZO Y PERSEVERANCIA.
GRACIAS CORCHO.

A MI HERMANA PAULINA : POR CONSTANTEMENTE HABERME
HECHO SENTIR CONTENTO CON
TODAS TUS OCURRENCIAS, OGA ¡.

A MI ABUELITA VICKY : POR SIEMPRE HABER ESTADO
CERCA DE MI Y POR CONTINUAMENTE
MOSTRAR PREOCUPACIÓN POR TODAS
MIS ACCIONES.

ÍNDICE GENERAL

<i>INTRODUCCIÓN</i>	1
<i>CAPITULO 1</i>	
ANTECEDENTES	2
1.1 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO	3
1.2 PROPIEDADES FÍSICAS	4
1.3 EFECTOS DE LA TEMPERATURA	6
1.4 METALURGIA DEL ZINALCO	6
1.5 FUNDICIÓN DEL ZINALCO	7
<i>CAPITULO 2</i>	
<u><i>PROCESOS DE FUNDICIÓN</i></u>	
2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES	9
2.1.1 FUNDICIÓN POR MEDIO DE DADO Ó MOLDE PERMANENTE	12
2.1.2 FUNDICIÓN A PRESIÓN	14
2.1.3 FUNDICIÓN CENTRÍFUGA	16
2.2 MOLDES	16
2.3 DISEÑO DE MOLDES	17
2.3.1 MINERAL BASE Ó AGREGADO	19
2.3.2 EL AGLUTINANTE	19
2.4 PROCESOS DE MOLDEO	20
2.4.1 MOLDES DE ARENA EN VERDE	20
2.4.2 MOLDES DE ARENA EN SECO	22

2.4.3 PROCESO POR MEDIO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)	23
2.4.4 PROCESO DE MOLDEO A LA CÁSCARA (PROCESO SHELL)	24
2.5 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO	26
2.5.1 MODELOS DE YESO	26
2.5.2 MODELOS DE PLÁSTICO	26
2.6 DEFECTOS DE FUNDICIÓN	27

CAPITULO 3

PROCESOS DE FUNDICIÓN EN MOLDES DE YESO

3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES	30
3.2 AGLUTINANTES PARA EL YESO	32
3.2.1 ENFRIAMIENTO	32
3.3 TIPO DE MODELOS USADOS EN MOLDES DE YESO	32
3.3.1 MODELOS DE MADERA	32
3.3.2 MODELOS DE PLÁSTICO	33
3.3.3 MODELOS DE METAL Ó PERMANENTES	33
3.4 SECADO DEL MOLDE	34

CAPÍTULO 4

DESARROLLO PRÁCTICO

4.1 CORTE DEL MATERIAL	35
4.2 MAQUINADO DE LOS MODELOS	35
4.3 PREPARACIÓN DE LOS MOLDES DE FUNDICIÓN	35
4.4 FUNDICIÓN DEL METAL	37
4.5 TRATAMIENTO TÉRMICO	38

4.6 MICROSCOPIA ÓPTICA	39
4.7 EXAMEN MICROSCÓPICO	42
4.8 PRUEBA DE TENSION	43
4.9 MEDIDA DE DUREZA	46
4.10 ESTUDIO DE DIFRACCION DE RAYOS X	47

CAPÍTULO 5
RESULTADOS

5.1 MICROSCOPIA ÓPTICA	49
5.2 DUREZA	52
5.3 PRUEBA DE TENSION	53
5.4 DIFRACCION DE RAYOS X	54

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES	57
BIBLIOGRAFIA	59
APÉNDICE A	62

INTRODUCCIÓN

En el año de 1976, dio inicio un programa de investigación dentro del Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM, tomando como base al sistema de aleación Al - Zn con el objeto de aprovechar las características que ofrecen estas aleaciones, ya que actualmente se les trata de desplazar con otros materiales, como son el aluminio y algunos plásticos. Otra razón es la de aprovechar el zinc que nuestro país produce y al cual no se le da un uso apropiado.

Dentro del comercio especializado existen ya desde hace muchos años aleaciones Al - Zn que poseen buenas propiedades mecánicas, aunque por sus limitantes son ya inapropiados para algunas aplicaciones. Así, todo el esfuerzo se enfocó hacia el desarrollo de una nueva aleación a la cual le denominaron ZINALCO™. Estudios posteriores mostraron que la adición de pequeñas cantidades de cobre (1 al 2%p), proporcionaban a la aleación mejores propiedades mecánicas.

El Zinalco, ha mostrado que se puede procesar por medio de fundición (en sus diferentes variantes); extruído y laminado, en contraste con las aleaciones ya conocidas de zinc que sólo se utilizan para fundición.

Así, el objeto de esta tesis es la de evaluar la dureza y determinar las fases que se encuentran presentes en la aleación comercial Zinalco colada en molde de yeso. Para ello se obtendrán probetas de sección circular a partir de un molde de yeso. Posteriormente, se cortarán muestras para el análisis metalográfico, medidas de dureza y difracción mediante rayos x.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

El Zinalco es realmente la aleación Al - Zn de composición eutectoide pero modificada con cobre (< de 2.5 %p). La inclusión del cobre mejora las propiedades mecánicas de la aleación, aunque durante la solidificación no altera la metalurgia del metal. La adición del cobre en el Zinalco facilita el comportamiento superplástico del metal a temperatura ambiente, pero, no se sabe con precisión a que temperatura es donde se realiza el cambio en su estructura para que llegue a comportarse plásticamente. Lo único conocido sobre su deformación plástica, es que ésta ocurre por el deslizamiento de sus granos.

Comercialmente el Zinalco se comenzó a distribuir por el año de 1991, y a partir de entonces ha tenido aceptación en algunas aplicaciones a las cuáles se ha sometido. En comparación con el aluminio y el acero de bajo carbono, el Zinalco se encuentra a la mitad de las características de dichos materiales, por lo que posee una combinación de propiedades entre estos dos metales; cuando otras aleaciones sólo muestran características cercanas a una sola aleación.

Algunas aplicaciones a las cuáles se ha sometido el Zinalco son : Tubos y algunas barras utilizadas en las estaciones del metro, barras sólidas para algunas secciones de cruces, en sustitución del bronce y del hierro también. En la actualidad se están realizando algunas modificaciones para tener algunas aplicaciones arquitectónicas. Cuando se le trata adecuadamente al Zinalco, éste actúa como una aleación Al - Zn con mejoras substanciales, que puede ser utilizado en algunas estructuras delgadas o no muy rígidas.

1.1.- Características de diseño

El diseño es parte importante de cualquier proyecto. Un factor importante para llevarlo a cabo es la selección adecuada del material. Como cualquier otro material, el Zinalco presenta algunos inconvenientes, esto es, condiciones bajo las cuales sus propiedades disminuyen considerablemente, especialmente si se decidió aplicar un tratamiento térmico determinado, ó debido a las condiciones de operación. El Zinalco posee una densidad intermedia entre los valores de las densidades del aluminio y del acero; ésta característica lo hace adecuado para usarse en aplicaciones similares a los del aluminio. Si dicha propiedad se toma en cuenta, además de su alta resistencia mecánica que presenta al agregársele un contenido de cobre adecuado, resulta satisfactorio al momento de trabajar bajo cargas, además de tomarlo en cuenta para realizar cualquier diseño con la aleación.

En el diseño de materiales es muy importante tomar en cuenta en que medios se va a desarrollar. El tratamiento térmico realizado al Zinalco debe ser observado detalladamente, ya que una falla que presenta, es al momento del enfriamiento, afectando directamente a sus propiedades mecánicas. Si el Zinalco va a trabajar bajo condiciones de altas temperaturas, no es recomendable su utilización; ya que la temperatura máxima de operación; esto es, en donde sus propiedades mecánicas son ideales, es hasta los 90 °C. Aunque el cobre aumenta ligeramente las propiedades mecánicas del material, como son la dureza y la ductilidad, algunos estudios mostraron que el magnesio en la aleación, reduce estas dos propiedades ampliamente. De este modo, se debe saber elegir correctamente que tipo de elementos, además del cobre, se deben de agregar a la aleación para que actúe correctamente, ya que existen distintos elementos que se pueden incluir en la aleación, presentando diferentes efectos cada uno de ellos, además de manifestarse de diferente forma al mezclarse con los otros elementos, y de este modo mejorar o reducir las propiedades del Zinalco . Así es que, al momento de diseñar cualquier pieza, utilizando Zinalco, se debe de elegir el elemento idóneo para obtener un comportamiento óptimo de la aleación.

1.2.- Propiedades físicas

Las propiedades físicas del Zinalco se presentan en la tabla 1, y en la tabla 2 se muestran sus características mecánicas. Su punto tan bajo de fusión, comparado con el del aluminio, el latón y el hierro, ocasiona un menor gasto de energía tanto de fundición como cuando se requiera realizar trabajo en frío ó en caliente al metal. La densidad del Zinalco se coloca entre la del hierro y la del aluminio, lo cuál lo hace adecuado para ciertas aplicaciones, donde es importante el ahorro en peso.

Tabla 1. Propiedades físicas del Zinalco™ con una adición del 2%p de cobre.

PROPIEDAD	VALOR NOMINAL
PUNTO DE FUSIÓN (°C)	421 - 482
DENSIDAD (g / cm ³)	5.4
MÓDULO ELÁSTICO (G Pa)	100
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (ohm . cm ⁻¹)	0.0000059
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W . m ⁻¹ . K ⁻¹)	125.5

Tabla 2. Propiedades mecánicas del Zinalco™ colado en molde de arena y extruído.

ESTADO	RESISTENCIA MÁXIMA (MPa)	RESISTENCIA A LA FLUENCIA (MPa)	DEFORMACIÓN (%)	DUREZA (Rb)
MOLDE DE ARENA	290 - 300	280 - 300	5 - 8	50 - 55
MATERIAL EXTRUÍDO	380 - 410	280 - 320	30 - 35	40 - 55

De esta manera, el Zinalco cubre un lugar que se consideraba vacío entre las propiedades del hierro y las del aluminio. Este espacio lo llegó a cubrir perfectamente el Zinalco, ya que si se refiere a la densidad se encuentra en un intervalo justo entre los 2 materiales. La resistencia a la corrosión es otra característica que identifica al Zinalco como un material que no se corroe tan fácilmente comparado con el hierro.

La adición de otro elemento a la aleación, en vez del cobre, podría modificar sensiblemente sus características. Algunos estudios comprobaron que la adición al Zinalco; por ejemplo de magnesio en vez de cobre, el esfuerzo a la cedencia y la ductilidad, disminuyen con respecto al aumento de la dureza en el metal; es por eso que en el diseño de este metal, la opción más viable es por medio de la adición de cobre, ya que las propiedades mecánicas las mejora a todas por igual; y no solamente a unas cuantas de ellas.

Si se quisiera templear al Zinalco, la mejor opción sería un temple al aire, ya que presenta una resistencia máxima a la fluencia; pero un temple, por ejemplo en agua con hielo, no es muy recomendable ya que aquí disminuye dicha propiedad. La temperatura desde la que se debe de templear es también un punto interesante. Un temple alrededor de los 300 - 350 °C, muestra que el comportamiento de la aleación es bueno con respecto a su resistencia a la cedencia manteniéndose este rango de temperatura, y en estas condiciones es donde la dureza aumenta considerablemente con respecto a las demás propiedades mecánicas. De este modo, el temple al aire es el más recomendable para el Zinalco cuando se tiene cobre en su microestructura, como así también depende de la cantidad; que en este caso es del 2%p.

En cuestiones de diseño es de suma importancia la cantidad de cobre que se desee agregar. Al agregarle un 2 %p de Cu, la ductilidad aumenta considerablemente, pero por el contrario, cantidades mayores de cobre, vuelven al Zinalco frágil.

Durante la compresión del material, este sufre una reducción en su altura de hasta $\pm 5\%$ de su total sin manifestarse cualquier falla, como sería el agrietamiento del material. El tiempo es otro factor importante que afecta al comportamiento del metal. El Zinalco, después de algunas horas de haber sido templado, disminuye su dureza hasta en un 40%, aunque después de unos pocos meses ésta dureza se normaliza, esto es, la dureza llega a ese valor como máximo y ya no tiende a disminuir más. La resistencia a la fluencia de la aleación, después de tratarlo térmicamente, puede llegar a representar hasta un tercio de su valor original.

1.3.- Efectos de la temperatura

La temperatura es un factor de importancia que afecta gradualmente las propiedades físicas y mecánicas de un material, por más resistente y bien diseñado que pueda estar; y el Zinalco no es la excepción.

El incremento gradual de la temperatura afecta considerablemente su resistencia a la fluencia, tan es así que este valor disminuye hasta 30 MPa por arriba de los 150 °C. En este aspecto del incremento de la temperatura no importa si es mucho o si es poco el porcentaje de cobre añadido a la aleación, pero se sabe que el incremento del cobre en la aleación mejora ostensiblemente las propiedades de la aleación, independientemente del incremento de la temperatura a un rango entre 150 °C y los 300 °C.

1.4.- Metalurgia del Zinalco™

El Zinalco está constituido básicamente por 2 fases: la primera es la fase α (fase alfa), que es rica en aluminio conteniendo el 1% de zinc; y la segunda es la fase η (fase eta), que es rica en zinc con el 0.5% del aluminio. El cobre está presente en las dos fases en solución (ver figura 1.1). La estructura de fundición del Zinalco está constituida por dendritas; con componentes $\alpha + \eta$ que se distribuyen en forma de láminas alternadas, ó en forma de gránulos.

Toda la forma de esta estructura depende directamente de la rapidez de enfriamiento a la cuál sea sometida la aleación.

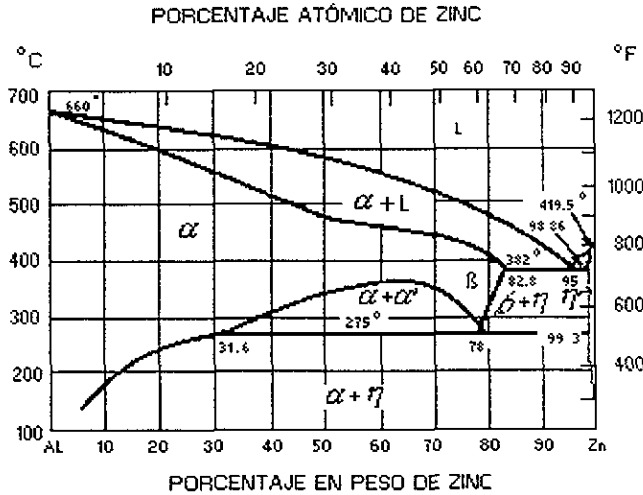


Figura 1.1.- Diagrama de fases al-zn.

Si la estructura no es adecuada para algunas aplicaciones ó si se desea cambiarla, esto se puede alterar por medio de un recocido a una temperatura de 350 °C ó también a través de trabajo en caliente.

1.5.- Fundición del zinalco TM

Al momento de estar fundiendo, es recomendable tratar de impedir que se introduzcan impurezas ajenas en la aleación, ya que de otro modo, cuando las impurezas se mezclen con el Zinalco, estas tienden a empobrecer las propiedades del metal. También la reducción de las propiedades del material se debe a la contaminación por medio de diferentes elementos como son: magnesio, cadmio ó hierro; ya que estos aceleran la corrosión de la aleación.

Si se desea obtener Zinalco, se sugieren las siguientes calidades para cada uno de los elementos que intervienen en la aleación:

- ♦ El aluminio debe ser de primera fusión.
- ♦ El zinc debe ser de alto grado, y
- ♦ El cobre debe agregarse en forma de cable ó en cualquier otra presentación.

Estas calidades se recomiendan por encima de otras, ya que al obtenerse la aleación, las pérdidas del material no sobrepasan más allá del 1%.

Para obtener Zinalco por primera vez, se deben de seguir los siguientes pasos para no llegar a afectar el porcentaje específico que cada microconstituyente debe contener :

- ♦ Fusión del aluminio incrementando la temperatura del horno hasta unos 800 °C.
- ♦ Añadir el cobre, la superficie debe ser limpiada constantemente para facilitar la difusión.
- ♦ Ya disuelto el aluminio, se agrega el zinc y se baja ligeramente la temperatura del horno.
- ♦ El vaciado debe realizarse, convenientemente, en forma de lingotes o por medio de una colada semicontinua.

La temperatura de colada no debe de ser superior a los 700 °C, independientemente del tipo de lingotera que se tenga.

CAPÍTULO 2

PROCESOS DE FUNDICIÓN

2.1.- Características generales.

Fundición es un proceso mediante el cual se vierte metal líquido en un molde, dejándose enfriar hasta solidificarse y obtener la forma deseada. Este es uno de los procesos más rápidos y económicos de fabricación de piezas metálicas.

En sus inicios, la fundición se catalogó como un arte, ya que la mayoría de las piezas obtenidas por medio de éste proceso eran utilizadas como artesanía y se tenía poca aplicación de tipo industrial. Este proceso se desarrolló formalmente al inicio de la Revolución Industrial, y es a partir de ese momento cuando su producción se enfocó principalmente en la producción de piezas de acero. Estas piezas obtenidas, a partir de los pocos conocimientos que se tenían acerca de las características de cada metal, con el tiempo llegaban a fallar o fallaban más rápido de lo planeado. Esto era debido a que no se conocían los componentes que integraban a los materiales (su estructura) para, de este modo, tratar de mejorarlos.

La razón principal del desarrollo de la fundición, surgió de la necesidad de obtener piezas con formas complejas; además de obtenerlas como una sola pieza (ya que anteriormente se obtenían algunas de ellas y las demás se fabricaban por medio de otros procesos), para que las piezas finalmente tuvieran una forma bien definida y que pudieran emplearse mejor.

La utilidad de un metal se basa principalmente en sus propiedades físicas que sólo el metal contiene, así como algunas propiedades mecánicas importantes como son : resistencia y ductilidad.

Antiguamente, si se deseaba obtener alguna pieza de cierto tamaño con diversas formas geométricas, lo que se hacía primero era obtener la parte más grande por medio de fundición y, posteriormente, las piezas restantes tratar de obtenerlas de acuerdo al mejor proceso disponible en esos tiempos, dependiendo de las características del metal y del diseño de los moldes que se tuvieran. Conforme fueron mejorando las formas de obtención de piezas a través de la fundición, el trabajo se fue facilitando.

Anteriormente, la información sobre la producción de cualquier pieza de fundición era interpretada por una sola persona, quien tenía que decidir cual tendría que ser el tipo de arena a usar (si el modelo se decidió realizarlo de arena) además de vertir el material en el molde a la velocidad adecuada para obtener una pieza con buenas características mecánicas.

El proceso de fundición ha llegado a ser, hasta ahora, uno de los procesos más sencillos por medio del cual se obtienen una gran cantidad de piezas de diversos tamaños y de geometría compleja. La obtención de una pieza por medio de fundición es de gran importancia, ya que se requiere saber elegir correctamente la forma de la pieza, el tipo de material que se necesita de acuerdo a las condiciones bajo las cuáles va a actuar; ya que éstas piezas se producen en serie, y si el diseño de la pieza ó la elección del material fue el incorrecto, se perderá una gran cantidad de dinero y de tiempo invertido inadecuadamente. Actualmente existen máquinas que realizan gran parte del proceso, desde colocar el material en el molde hasta realizar la colada; pero en algunas partes del proceso, es todavía necesaria la colaboración y decisión del operario para decidir que hacer en caso de que algo llegara a suceder repentinamente.

Para que un proceso de fundición sea exitoso, se debe de cumplir con los siguientes condiciones:

- ◆ El tipo de modelo debe ser el adecuado para el tipo de metal a fundir.
- ◆ La temperatura a la cual se debe dejar fundir el metal no debe de ser mayor a su temperatura de fusión.
- ◆ El tiempo que el metal debe permanecer en el crisol y la velocidad de colada, deben ser determinadas previamente para obtener una mejor fundición.

Dentro del proceso de fundición, existen algunos sub-sistemas que se deben de seguir; éstos comienzan desde la fusión del metal hasta el almacenamiento de las piezas. Estos sub-sistemas son los siguientes :

- ◆ Preparación del metal : Recepción, fusión y retención del metal.
- ◆ Preparación del molde : Recepción de arena, mezclado, fabricación de moldes, fabricación de corazones y ensamble.
- ◆ Colado y Desmoldeo : Colado, enfriamiento, desmoldeo, recuperación de arena, y limpieza.
- ◆ Limpieza y Tratamiento : Preparación de abrasivos, esmerilado, recocido y templado.
- ◆ Salida del Producto : Almacenamiento, empaclado y carga.

En la figura 2.1, se muestra un diagrama del proceso de fundición y los pasos básicos que se deben llevar a cabo para obtener piezas de fundición con buenas características.

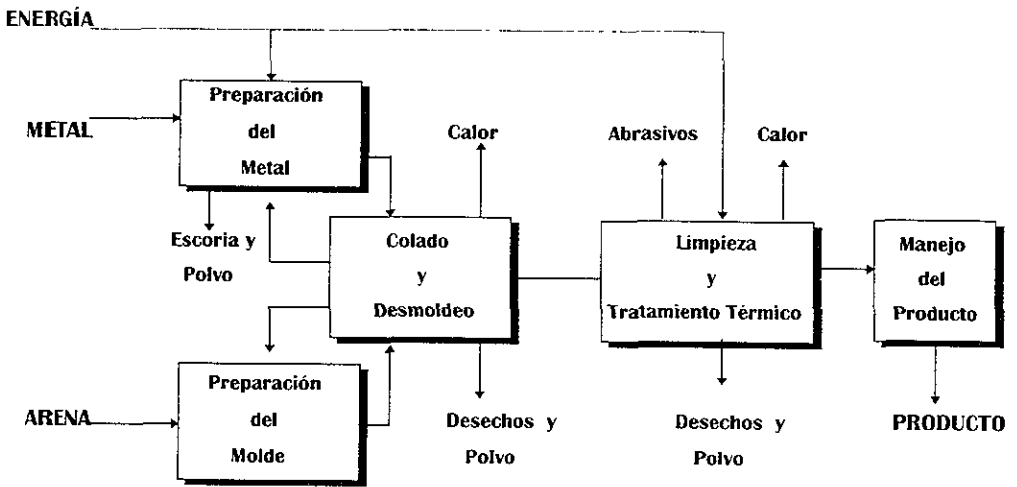


Figura 2.1.- Proceso de fundición.

2.1.1.- Fundición por medio de dado ó molde permanente.

En la fundición por medio de molde permanente ó dado, el metal se vierte en el dado ó molde para que adopte la forma de la pieza, para finalmente esperar a que el metal solidifique y poderlo sacar. En este caso, el molde ó dado está compuesto de 2 partes: un plato superior y un plato inferior; de los cuáles uno se remueve para poder sacar la pieza, mientras que el otro permanece estático.

Conforme la complejidad en la forma de la pieza y el peso empiezan a aumentar, los costos de producción y de operación aumentan mucho más. Este proceso es ideal para producciones medias y grandes, generalmente para piezas no-ferrosas, que pueden variar su peso desde 0.5 kg hasta 50 kg.

Las piezas fundidas obtenidas a partir de este proceso son, en muchos casos, aleaciones de aluminio, cobre, magnesio y muchas otras más son de acero.

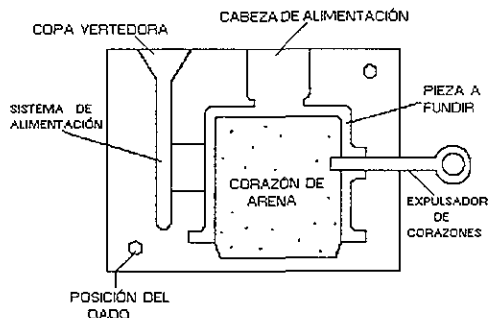


Figura 2.2.- Representación esquemática de fundición en molde permanente.

Aunque existen muchas semejanzas entre el proceso de fundición de molde permanente y el proceso de molde en arena, el primero de estos proporciona piezas fundidas con tolerancias dimensionales cercanas, mejores acabados superficiales y mejores propiedades mecánicas.

Algunas desventajas del proceso de molde permanente, son:

- ◆ Las herramientas utilizadas para sacar las piezas del molde son muy sofisticadas y costosas.
- ◆ No todos los materiales y aleaciones se pueden fundir en esta clase de proceso.
- ◆ No se pueden diseñar piezas tan complejas como en los moldes de arena.

Los dados utilizados en el proceso se obtienen previamente de fundición. El material utilizado normalmente en los dados es de hierro gris, debido a las altas temperaturas que se alcanzan al estar fundiendo con ellos. Posteriormente, los dados obtenidos se maquinan para poder obtener mejores acabados y mayores tolerancias.

2.1.2.- Fundición a presión.

En este proceso, el metal se vierte a gran velocidad en el dado y se solidifica en él rápidamente con la ayuda de una gran presión aplicada externamente. Las aleaciones utilizadas en este proceso son, en su gran mayoría, de zinc y de aluminio. Los dados fabricados para operar en este proceso deben de ser de gran resistencia debido a las grandes presiones que recibe el dado. Existen 2 formas de obtener piezas por medio de fundición a presión; éstos son por medio del proceso de cámara caliente y el otro es a través del proceso de cámara fría, los cuales se explican a continuación.

♦ proceso de cámara caliente.

En este proceso, el material para fundir se mantiene dentro de un horno que se encuentra a alta temperatura; posteriormente una máquina llamada "cuello de ganso" empuja una parte del molde contra un cilindro para que el metal se vea forzado a entrar en el molde, y finalmente obtener la pieza requerida.

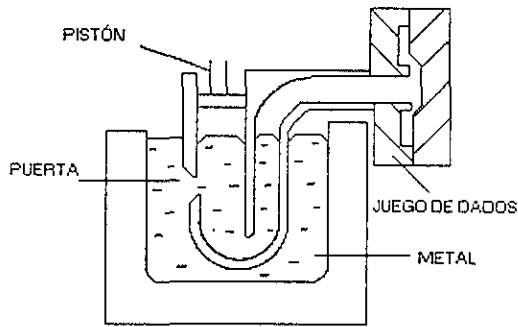


Figura 2.3.- Representación esquemática de cámara caliente en un proceso de fundición a presión.

♦ proceso de cámara fría.

En este caso, se vierte metal dentro de un tubo que se encuentra directamente conectado hacia el dado. Con la presión ejercida por medio de un pistón se presiona el metal con gran fuerza para que pueda solidificar en el dado. El principal inconveniente de éste método es que con la baja velocidad con que se empuja al metal hacia el dado, se producen piezas con porosidad debido a que alcanza a penetrar aire al tubo. Este proceso se utiliza para obtener piezas de aleaciones de aluminio y cobre.

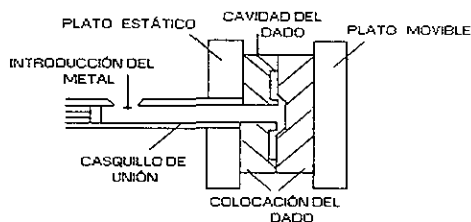


Figura 2.4.- Representación esquemática de cámara fría en un proceso de fundición a presión.

Las ventajas de este proceso, son:

- ♦ Fundiciones con dimensiones cercanas a las reales.
- ♦ Fundiciones con buenos acabados superficiales.
- ♦ Se pueden fundir grandes cantidades de piezas rápidamente.

Las desventajas, son las siguientes:

- ♦ Alto costo para diseñar las máquinas para fundir.
- ♦ Alto costo de las herramientas utilizadas.
- ♦ No se pueden fundir todas las clases de aleaciones.
- ♦ Las piezas a fundir no deben de ser muy grandes.

2.1.3.- Fundición centrífuga.

La fundición centrífuga surgió debido a que los procesos de fundición a presión y de molde permanente resultaban muy caros. El principio básico de este proceso es la fuerza centrífuga. Aquí, el metal se introduce en el molde y éste se mueve en forma rotatoria hasta que el metal solidifique. La fuerza centrífuga crea presiones que exceden la fuerza de la gravedad para empujar al metal hacia el centro del molde. El metal fluye con facilidad hacia las secciones delgadas, y de éste modo se obtienen fundiciones con acabado fino.

La velocidad de rotación que se utiliza en este proceso puede variar desde 200 hasta 1000 rev./min. Como este proceso es lento, solamente se obtienen piezas pequeñas y sencillas. La fundición centrífuga muestra algunos defectos de contracción en las piezas finales. Estos defectos son: porosidad e inclusiones no-metálicas, pero en cantidades menores comparado con otros procesos.

2.2.- Moldes

Un molde es uno de los elementos principales dentro del proceso de fundición. Este es el componente que aporta la estructura, donde se colocan el corazón y el modelo para que al momento de ser comprimida la arena, se forme la figura de estos, para finalmente vertir el material y así obtener la pieza requerida. Un molde está compuesto de dos partes; un plato superior y un plato inferior. Dentro de un mismo molde se pueden colocar varios corazones como sea necesario, independientemente de su complejidad y del tipo de molde que se trate. Existen diferentes tipos de moldes y, dependiendo del tipo de molde que se elija, será de gran importancia para su producción.

Esto es, un molde requiere de muchos aditamentos para llevar a cabo una fundición, y el costo que implica su fabricación es muy alto, así es que es muy importante que la pieza que se diseñe sea de alta calidad y con buenas características para que valga la pena fabricarlas en serie.

2.3.- Diseño de moldes

La característica principal que se debe tomar en cuenta para diseñar un molde, es la de seleccionar el tipo de material a fundir, que sea compatible con el material del molde y éste último sea lo suficientemente permeable para poder expulsar la cantidad necesaria de calor hacia el exterior y no afectar directamente a la pieza fundida por exceso de calor. A partir de esto se debe de conocer que sería lo más conveniente de obtener dependiendo de los materiales que se tengan.

Los bebederos son elementos primordiales de los moldes, por medio de ellos es por donde se vierte el material fundido conduciéndolo hasta el fondo de la pieza para poder penetrar en los lugares donde sería más difícil de llegar si la colada se realizara manualmente. Al momento de diseñar un molde, se debe de tomar en cuenta, cuántos y como serán colocados los bebederos en el molde, para que al momento de que la pieza solidifique, se retiren éstos sin dañar a la pieza fundida y posteriormente se puedan volver a utilizar.

Cuando un material se calienta a temperaturas mucho más altas a su temperatura de fusión, ocurren algunos cambios en su microestructura al momento de ser vertido en el molde, sufriendo una contracción mucho mayor a la normal, alterando de este modo las dimensiones reales de la pieza a obtener. Estas contracciones dependen mucho de la calidad del material del modelo y del metal a fundir. Para evitar todo esto, el modelo original se construye de dimensiones mayores, para que cuando el material solidifique y se llegue a contraer no se alteren sus dimensiones reales, y de éste modo se obtenga la pieza con las medidas originales.

Otra razón por la cual al momento de construir un modelo se deben aumentar ligeramente sus dimensiones, es debido a la oxidación que sufren las piezas al solidificarse dentro del molde, ya que posteriormente se deben de maquinar para poder darles un acabado adecuado.

Los cambios en la microestructura se deben a reacciones ocurridas por medio de los gases que se emiten al vertir el material, así como del tipo de materiales que se utilicen en los moldes. El acabado final depende de la velocidad de vaciado, del tipo de material a fundir y de algunos minerales que se agregan a la arena para mejorar sus propiedades.

Un acabado superficial rugoso, se obtiene a partir de la humedad acumulada dentro del molde y también debido a una velocidad elevada de colada; ya que el metal fundido no alcanza a cubrir todos los espacios pequeños que se llegaran a encontrar en piezas complejas. Los minerales que se agregan a las arenas, depende del metal a fundir; por ejemplo, a las piezas que se obtienen de acero no se les debe de agregar carbón como recubrimiento, ya que éste afecta considerablemente a sus propiedades mecánicas.

Normalmente se diseñan moldes de arena (generalmente de arena en verde), para producciones no muy grandes y tolerancias no muy exactas, ya que las piezas obtenidas a partir de este tipo de moldes se deben de maquinar posteriormente para mejorar su acabado. En cambio, los moldes permanentes, son de gran utilidad para las producciones grandes, ya que estos son re-utilizables; pero por el contrario, la inversión crece con respecto a la calidad de los materiales a utilizar, y las tolerancias son mucho más exactas que las obtenidas de los moldes de arena. Un problema que se tiene al momento de diseñar los moldes, es saber cuál debe de ser el mejor para los metales que se van a fundir.

Cuando se vierte el metal líquido en un molde de arena, el metal sufre una mayor contracción comparada con la que se presenta en un molde permanente, por esta razón siempre se debe de tomar en cuenta que al momento de diseñar una pieza que se va a obtener en un molde de arena, ésta pieza debe de ser mayor que la original para compensar las contracciones finales que sufre el metal al solidificarse.

La razón principal por la que la mayoría de las piezas obtenidas por medio de fundición son a partir de moldes de arena, es por la facilidad que poseen algunos metales de adaptarse rápidamente a la forma que tiene el molde, además de que su adquisición resulta económica. La desventaja de los moldes de arena sobre los moldes metálicos, es que los primeros sólo son útiles para una sola fundición, y los de metal sirven para producciones mayores.

2.3.1.- Mineral base ó agregado.

La mezcla de las arenas contienen elementos principales, como son: La base ó comúnmente llamado agregado, y el aglutinante. El agregado es un mineral que se utiliza como revestimiento en el modelo, ayudando en gran medida a la calidad final que se tenga en la pieza. Un revestimiento generalmente utilizado es el carbón (previamente mojado en agua) y algunas pequeñas cantidades de diferentes clases de aglutinantes.

El agregado que generalmente se utiliza es la *silica*, ya que se obtiene de forma natural. Otros agregados con menos aplicación son : óxidos ó silicatos, cromita y zirconio; pero estos se obtienen a partir de procesos químicos, reduciendo sus propiedades al aplicarlos al molde; a diferencia de la *silica* que posee mejores características. La utilización de un mineral base es con el objeto de evitar algunas grietas que se pudieran presentar durante la vida útil del metal.

2.3.2.- El aglutinante.

Los aglutinantes más comerciales son: carbón mineral (arena natural ó sintética). La utilidad de un aglutinante es la de mejorar la textura del molde en beneficio del metal fundido. Los aglutinantes tienden a combinarse con la mezcla de minerales que se encuentran en la arena y de este modo, fortalecer al molde para obtener una mayor dureza al momento de recibir al metal fundido. A temperaturas mayores, el aglutinante pierde su propiedad, afectando al molde. Otra opción para sustituir al aglutinante es usar una resina sintética, que se adhiere también al molde endureciéndolo durante el vaciado del metal.

Los aglutinantes orgánicos incluyen aceites, melazas, almidón, silicato de sodio y silicato de etil. Los aglutinantes inorgánicos son básicamente silicatos (sodio ó agua), cemento, y silicatos de aluminio. Si este tipo de aglutinante se mezcla con la arena, esta arena resulta ser menos resistente; en este caso se rocía con CO_2 durante un minuto para poderla endurecer más.

2.4.- Procesos de moldeo

En un proceso de fundición se debe buscar la forma más rápida y económica de obtener cualquier tipo de pieza por más compleja que sea. Las arenas preparadas para formar parte del molde en una pieza fundida contienen 3 elementos principales: arena, arcilla y agua; que se mezclan entre sí ya sea por medio de máquinas mezcladoras ó manualmente. Para producir arenas de calidad en beneficio de las piezas obtenidas, es necesario que cada grano de arena se cubra con arcilla templada y estos a su vez se deben sumergir en agua para mejorar sus propiedades mecánicas.

2.4.1.- Moldes de arena en verde.

Los moldes de arena en verde son los más comunes dentro de los procesos de fundición. Con este tipo de moldes se pueden obtener de 3 a 4 toneladas de piezas y todas estas con buen acabado y exactitud. Este tipo de moldes son los más económicos para fabricar, y de ellos se pueden obtener piezas de formas diversas sin presentar grandes deformaciones y esfuerzos. En los moldes de arena en verde, la arena puede ser natural, sintética ó una combinación de las dos. La principal característica de estos moldes, es que el tipo de arena que se utiliza en ellos debe ser previamente revenida para fortalecerla. En la preparación de la arena natural (antes de ser revenida), se debe incluir la cantidad de agua necesaria para evitar que la arena se temple; esto se evita con máquinas mezcladoras. Si es necesario utilizar arena sintética, ésta se puede preparar por medio de máquinas especiales de mezclado para poder obtener la suficiente resistencia de la arena; esto es, debe contener la misma cantidad de agua y de minerales.

El costo para preparar el tipo de arena para estos moldes, es uno de los más elevados dentro de los moldes de arena de cualquier tipo, por la razón de que se utilizan muchos aditivos para mejorar los acabados y las propiedades de las piezas.

La mezcla de la arena en verde está constituida por:

- ♦ Arena de sílice
- ♦ Arcilla y
- ♦ Agua

Algunas veces se agregan determinados minerales con el propósito de mejorar las propiedades finales de las piezas, así como sus acabados. Estos minerales son:

- ♦ Carbón de piedra
- ♦ Alquitrán o brea (mineral rico en hidrocarburos)
- ♦ Dextrina y
- ♦ Melaza

Estos 2 últimos contribuyen a mejorar la resistencia de la pieza fundida al trabajar a temperaturas elevadas. Las características generales que deben componer los minerales que se utilicen para producir arena en verde, deben ser:

- ♦ El apisonamiento de la arena dentro del molde, debe ser comprimida con fuerza para que pueda llegar a cualquier pequeño rincón que se tenga en la pieza.
- ♦ La arena debe mostrar gran dureza para que no llegue a agrietarse.
- ♦ Debe poseer buena resistencia para poder soportar su propio peso al estar apisonada, y también soportar al metal líquido al ser fundido a altas temperaturas.
- ♦ Debe ser permeable, esto es, permitir la expulsión de los gases durante la solidificación del metal y no provocar rechupes ó cavidades en la pieza.

2.4.2.- Moldes de arena en seco.

El molde de arena en seco tiene las mismas características que el de arena en verde. En los moldes de arena en seco existe menos presencia de gases internos, por la razón de que se enfrían más rápido y no permite la acumulación de los gases, obteniéndose piezas de mayor precisión que los obtenidos a partir de moldes de arena en verde.

Estos moldes son utilizados para producir piezas de peso y tamaño grande. El tipo de arena que contienen estos moldes se compone de diferentes minerales. Estos son:

- ♦ Alquitrán
- ♦ Melazas
- ♦ Dextrina y
- ♦ Resina

Estos componentes incrementan la dureza de la arena y vuelven más rígido al molde. Pero por el contrario, esto resulta ser un defecto para la arena, ya que mientras más dura sea la arena, más tiempo tarda en llevarse a cabo la solidificación del metal. Estos moldes son bastantes útiles, ya que en ellos se pueden colocar una serie de corazones dispuestos de formas distintas.

Algunas ventajas de los moldes de arena en seco son:

- ♦ Reduce la presencia de gases en su interior, por contener aditivos que incrementan la solidificación.
- ♦ Las piezas obtenidas tienen medidas más exactas, ya que el metal fluye mejor y penetra hasta los rincones más pequeños y delgados de la pieza.
- ♦ Las piezas pueden quedarse en el molde, sin afectar en sus propiedades mecánicas al enfriarse dentro.

2.4.3.- Proceso por medio de dióxido de carbono (CO₂).

El tipo de arena en este tipo de proceso contiene los mismos componentes que en los moldes de arena en seco y en verde, pero con la diferencia de que este proceso contiene un porcentaje mayor de silicato de sodio que va desde el 2% hasta el 6%. La dureza que contiene esta mezcla se controla a través de la cantidad de arcilla, que en éste caso es del 2%. Otra opción para el endurecimiento del corazón es por medio del silicato de dicalcio; dependiendo de las características del metal a fundir, se puede elegir cualquier tipo de endurecedor de corazones, el silicato de sodio ó el de dicalcio. En este tipo de moldes se tiene la ventaja de obtener piezas fundidas a partir de metales ferrosos y no-ferrosos. Como en los anteriores tipos de moldes, si se requiere que las piezas obtenidas a partir de este proceso tengan un buen acabado superficial, se necesita incluir los siguientes elementos:

- ♦ Óxido de hierro
- ♦ Grafito y
- ♦ Carbón

Este proceso tiene una ventaja sobre los demás procesos de que no se necesitan diseños especiales para fabricar corazones, ya que éstos se depositan directamente sobre la arena en el molde. Este proceso se enfoca, básicamente, en el endurecimiento del corazón y del molde por medio del rocío de dióxido de carbono (CO₂). Esto es, después de haber comprimido perfectamente la arena, se rocía durante un minuto con CO₂ en forma proporcional. De este modo, el endurecimiento resulta todavía más rápido al agregársele el endurecedor antes mencionado. En este tipo de proceso, el molde puede ser nuevamente utilizado sin necesidad de re-diseñarlo para una nueva fundición. Algunas ventajas adicionales de este proceso, son:

- ♦ Las piezas obtenidas tienen buenos acabados.
- ♦ Poco consumo de gas.

- ♦ Se evita la pérdida de tiempo al esperar a que se seque el molde, ya que al rociarle el gas al molde, éste se endurece rápidamente.
- ♦ No se produce mucha emanación de humo ó de gas.

2.4.4.- Proceso de moldeo a la cáscara (proceso shell).

El proceso shell tiene gran aplicación en dos grandes áreas: La primera, es el área dónde se obtienen piezas fundidas que antiguamente se obtuvieron por otros métodos, como por ejemplo, por medio de forja. La segunda, es el área donde algunas piezas se obtienen a partir de moldes de arena. Esto es con el fin de mejorar los acabados finales, así como las dimensiones de las piezas fundidas; puesto que estas características no se pueden obtener directamente en los moldes de arena.

Algunas ventajas del proceso shell sobre los moldes de arena, son:

- ♦ Las tolerancias obtenidas son muy altas. Para mejorar estas tolerancias, depende mucho del metal a fundir y de la forma geométrica de la pieza requerida.
- ♦ El metal a fundir puede vertirse a menor temperatura, ya que con la ayuda de la cáscara que se acumula alrededor del molde, permite un enfriamiento más lento y de este modo ocurren menos contracciones del metal al momento de solidificarse.
- ♦ Las superficies obtenidas en este proceso son mucho más finas, ya que se utilizan arenas de mejor calidad y mucho más costosas que en otros procesos.

Las piezas que se obtienen en este tipo de proceso resultan ser más caras, en comparación con las piezas que se obtienen a partir de los moldes de arena. Para reducir los costos en el proceso shell, las piezas deben ser diseñadas perfectamente para evitar posteriores maquinados. Los materiales y minerales que se deben utilizar durante el proceso shell, son:

- ♦ Resina
 - ♦ Arena
-

- ♦ Resinas del tipo fenol-formaldehído, y
- ♦ Arenas secas (sílice y zirconio)

El proceso shell se desarrolla como sigue:

- ♦ Primeramente se obtiene un modelo previamente maquinado, éste se coloca sobre el plato superior del molde. El modelo debe ser colocado en el molde con alta temperatura.
- ♦ El molde se invierte (cambio de posición), para que el calor contenido en el modelo, se transfiera a todo el molde y la arena se adhiera por completo.
- ♦ Nuevamente se invierte el molde para colocarlo en su posición original, y de este modo la arena vuelve a cubrir al molde, por sí algún espacio del modelo no quedo cubierto por completo con la arena.
- ♦ En seguida, el molde se introduce en un horno para que la arena alrededor del modelo se pueda quemar por completo.
- ♦ La arena sobrante se quita, y el molde se debe unir con la otra mitad para que el metal pueda vertirse y obtenerse la pieza deseada.

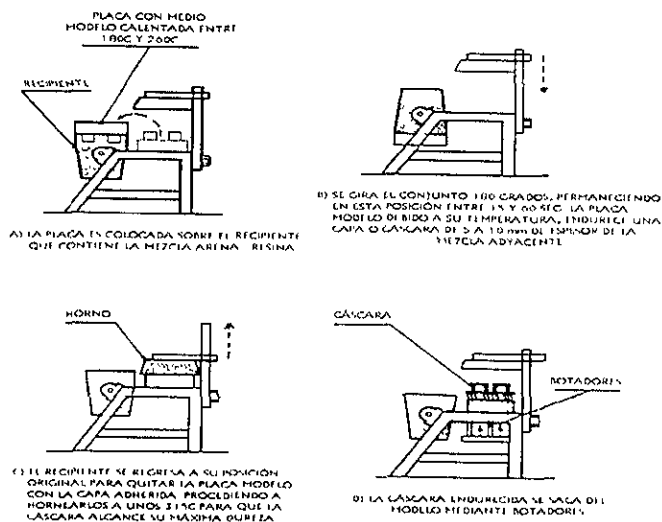


Figura 2.5.- Representación esquemática del proceso de moldeo en cáscara (proceso shell).

2.5.- Construcción del modelo

La calidad y exactitud de una pieza fundida depende en gran medida del material del modelo a construir. Para fundir pocas piezas, lo recomendable es construir un modelo de madera. Lo mejor sería construirlo de una madera que sea de buena calidad y que sea resistente, ya que al momento de comprimir la arena sobre el molde, ésta se impregna con mayor facilidad que en las maderas suaves. También se desgastan menos que las otras maderas, los contornos finos y cavidades pequeñas resultan de mayor calidad y de mayor exactitud.

En algunos casos resulta útil hacer un modelo a escala del original para poder observar cuáles serían las fallas y los detalles que pudieran surgir a partir de un modelo real. Este modelo se hace con la finalidad de prevenir grandes fallas si se decidiera realizarlo directamente sobre el modelo real; ya que de otro modo se haría un gasto mucho mayor al saber que ese no era el modelo adecuado.

2.5.1.- Modelos de yeso.

Los modelos de yeso pueden ser utilizados para construir piezas complejas y para realizar algunas pruebas para prevenir futuras complicaciones en el diseño. Dada la facilidad con que se pueden moldear piezas en yeso, las piezas obtenidas se pueden desprender rápidamente y resultan fáciles de maquinar.

Las piezas obtenidas a partir de los modelos de yeso tienen buena resistencia y pueden soportar cargas variables durante un tiempo prolongado. Los modelos de yeso pueden ser recubiertos de distintas clases de plásticos para ayudarlos a ser más duraderos durante su tiempo de vida.

2.5.2.- Modelos de plástico.

Los modelos de plástico han demostrado ser de buena calidad.

Estos se pueden obtener por medio de la inyección del plástico a partir de un dado ó también se pueden fabricar directamente en un bloque de plástico para darle la forma requerida. Últimamente los modelos de plástico se están fabricando de compuestos sintéticos, como resinas epóxicas.

Las ventajas de los modelos de plástico sobre algunos otros modelos, como los de cera, es que las piezas que se pueden obtener en ellos pueden tener mejores microestructuras a temperatura ambiente y por lo consiguiente se obtienen piezas con dimensiones más cercanas a las reales. A pesar de lo anterior, los modelos de cera son, generalmente, de mayor uso.

2.6.- Defectos de fundición

Las piezas perfectas no existen. El problema de los defectos de fundición ocurre de diferentes formas. Estas pueden ser debido a una mala solidificación del metal, a una velocidad alta de vaciado ó al tratar de sacar la pieza del molde.

Los defectos de fundición se clasifican en:

- A) Errores de vaciado
- B) Inclusiones
- C) Defectos de gas
- D) Porosidad

A continuación se describe brevemente los defectos antes mencionados.

A) Errores de vaciado.

Al momento de realizar la colada, se debe tomar en cuenta la velocidad de vaciado de acuerdo al metal que se va a fundir. Es de suponerse que el metal líquido debe de llenar todos los espacios que se tengan en la pieza al fundir.

Pero esto no ocurre así, normalmente el metal llega a solidificarse antes de poder alcanzar los espacios pequeños en el molde. Un problema muy común es que no se tengan los bebederos adecuados, ya sea por que no se diseñaron correctamente y no llegan alcanzar todos los rincones de la pieza, ó por que el diámetro de los bebederos es muy pequeño y el operador se ve obligado a realizar más despacio la colada, y por lo tanto, el metal solidifica antes de poder penetrar en la pieza.

B) Inclusiones.

Las inclusiones no-metálicas se dividen en 2 grupos: El primer grupo son las inclusiones internas y el segundo grupo son las inclusiones externas. Las internas son las que se encuentran en la aleación durante el vaciado y durante la solidificación del metal.

Estas inclusiones se pueden encontrar en toda la pieza fundida. Las inclusiones externas son las que se forman en el interior del horno de fundición. Estas se forman debido a la contaminación del aire, a un inadecuado lavado del horno y a un mal mantenimiento en general. Estas inclusiones son arrastradas al momento de verter el metal y son llevadas hasta cualquier parte de la pieza a fundir.

C) Defectos de gas.

Los gases que se quedan atrapados durante la colada y no pueden salir del molde, provocan malos acabados en las piezas llegando a manifestarse como burbujas ó como pequeños orificios alrededor de la pieza. Estos gases son los que se despiden cuando el metal está siendo fundido y se vierte hacia el molde.

Dependiendo de la velocidad de vaciado y de la cantidad de humedad que contenga el molde, es la cantidad de gas manifestado. Cuando el metal solidifica, presenta imperfecciones ó malos acabados. Estos son debido a que el aire penetró al molde y no pudo salir rápidamente debido a que los gases que entraron, impidieron la salida del aire. Estas burbujas de aire se forman por una alta velocidad de vaciado, provocando turbulencia.

Otra razón por la que se forman éstas bolsas de aire, es debido a la humedad de la arena en el molde; de este modo se dice que el molde no tiene buena permeabilidad.

D) Porosidad.

La porosidad se debe a 2 razones; por contracciones ó por el aire atrapado en el molde. La porosidad afecta mucho a la dureza de las piezas, ya que estas imperfecciones actúan como concentradores de esfuerzos. Se deben de evitar las coladas directamente sobre las cavidades pequeñas.

Para ayudar a que el metal penetre en las pequeñas cavidades se colocan algunos aditamentos llamados "*conchas*", que ayudan a retardar la solidificación del metal debido a que son hechas del mismo material que el del molde.

Cuando el material comienza a solidificar, con la ayuda de las conchas los gases que pudieron quedarse atrapados, son expulsados a través de las conchas, y de este modo las piezas fundidas finales pueden obtenerse con menos porosidad y por ende fallarían con menor frecuencia.

CAPÍTULO 3

PROCESOS DE FUNDICIÓN EN MOLDES DE YESO

3.1 - Características generales.

Los moldes de yeso se utilizan para llevar a cabo fundiciones de aleaciones metálicas no ferrosas, en donde se requieren acabados más finos, y en donde las pequeñas cavidades ó pequeños detalles resulten con mejor definición, buscándose con esto, poder aumentar las tolerancias y así obtener piezas con dimensiones más cercanas a las reales, ya que esto se carece en las piezas que se obtienen a partir de moldes de arena, moldes permanentes y a partir del proceso shell. Las piezas comúnmente obtenidas en moldes de yeso son: impulsores para bombas, unidades de transmisión de fluidos, componentes para sistemas de combustible, componentes electrónicos, equipo médico y equipo para construcción.

Existen 2 métodos para llevar a cabo un proceso de fundición a partir de moldes de yeso; estos son:

- ♦ El proceso convencional, y
- ♦ El proceso llamado de espuma.

En el proceso convencional, el yeso se mezcla con agua para poder vertir la mezcla dentro del molde de fundición. El molde de fundición debe de ser enfriado en su totalidad para evitar que se produzca porosidad en las piezas finales. De este modo, lo siguiente es realizar la colada del material, ya sea por medio de los métodos convencionales ó realizarla manualmente; ésta última también llamada colada por gravedad.

En el proceso de espuma, se utiliza un aglutinante, de tal modo que el yeso a utilizar sea lo más permeable posible para evitar piezas porosas; de hecho, en éste proceso se obtienen piezas con menor porosidad que si se realizara por el método convencional (sin aglutinante), y de éste modo, las piezas obtenidas resultan tener valores de dureza más altos.

Este proceso se aplica generalmente para piezas de aluminio, aleaciones Mn-Zn y aleaciones de cobre. Se pueden producir piezas desde 50 g hasta piezas de 10 kg. Estos rangos representan el 90% de la producción total de piezas obtenidas a partir de moldes de yeso. Las aleaciones de aluminio se fabrican generalmente arriba de los 50 kg, y últimamente se han obtenido piezas con un peso de hasta 1815 kg.

Para obtener piezas con secciones delgadas, generalmente se pueden fabricar piezas con un espesor mínimo de 0.25 mm, llegando a obtenerse piezas de 1.5, 1.75 y 2.25 mm. El acabado superficial de éstas piezas tiende a empeorar conforme se incrementa la temperatura de colada. Sin embargo, en las aleaciones de cobre y de aluminio, se obtienen mejores características de acabado superficial. Generalmente estas piezas se obtienen con rugosidades de 0 a $3.2 \mu\text{m}$ (25 hasta $125 \mu\text{plg.}$). Debido a la poca dureza que se obtiene con las piezas a partir de moldes de yeso, el diámetro mínimo a fabricarse debe ser de 6 mm; y las tolerancias posibles a manejar pueden variar desde 0.4 mm hasta 1.5 mm, para poder obtener mayor precisión de los barrenos.

Las ventajas y desventajas del proceso de fundición en moldes de yeso, son las siguientes:

Ventajas

- ◆ Facilidad para obtener piezas de geometría compleja.
- ◆ Facilidad para producir piezas con secciones delgadas y pequeñas.
- ◆ El yeso se adapta muy bien a la forma del modelo.
- ◆ Obtención de piezas con dimensiones más cercanas a las reales.
- ◆ Obtención de piezas con buenos acabados superficiales.
- ◆ Obtención de piezas con pocos concentradores de esfuerzos, además de que la forma que se queda impresa en el yeso, no se distorsiona mucho al momento de verter el material.

Desventajas

- ♦ Poca producción de piezas debido al largo proceso de fundición.
- ♦ Poca facilidad para añadir varios modelos a la vez en el molde.
- ♦ Obtención de piezas con mucha porosidad, debido a que el yeso no resulta ser muy permeable.
- ♦ Obtención de piezas con baja resistencia mecánica, debido a que el enfriamiento de las piezas es muy lento.
- ♦ Los materiales de moldeo, como son el aglutinante y el propio yeso, no se pueden volver a utilizar, ya que pierden propiedades al vertirse el metal fundido en ellos.

3.2.- Aglutinantes para el yeso

Generalmente, los aditivos ó aglutinantes utilizados en éste proceso incrementan las propiedades de moldeo del yeso, como son: dureza y permeabilidad. Los aglutinantes más utilizados son los cementos, la arcilla, el silice y la fibra de vidrio.

3.2.1.- Enfriamiento.

En este tipo de procesos, los aglutinantes se deben de enfriar en agua por un tiempo de 2 a 3 minutos antes de que el material sea vertido en el molde. Esto permite que el agua penetre en todo el yeso para poder ayudar a que el aglutinante se disperse a través de toda la mezcla, y así, proporcionar más resistencia a la deformación del yeso al ser vertido el metal.

3.3.- Tipos de modelos usados en moldes de yeso

3.3.1.- Modelos de madera.

La madera resulta económica y fácil de moldear. Sin embargo, al momento de que la madera se maquina, el grano que la madera posee puede ocasionar impresiones adicionales en el molde, y de este modo, modificar el diseño original que se tenía del modelo.

Un cuidado especial que se debe de tener con la madera es que, si se llega a tener mucho contacto con el agua, ésta tiende a deformarse y por lo consiguiente puede ocasionar alteraciones en las piezas finales. La madera se considera para producciones de baja calidad y no muy altas tolerancias así como acabados de baja calidad.

3.3.2.- Modelos de plástico.

La producción de modelos de plástico como son la resina epóxica, producen piezas de alta calidad. Sin embargo, se debe tener precaución en no diseñar muchas secciones delgadas y pequeñas, ya que el plástico no alcanza a llenar con facilidad esos pequeños espacios. Los moldes de plástico son útiles cuando se desea obtener piezas de gran tamaño y pocas cavidades ó secciones grandes.

3.3.3.- Modelos de metal ó permanentes.

Este tipo de modelos son muy utilizados para producciones grandes, debido a que se obtienen piezas de alta calidad, buenos acabados superficiales y dimensiones muy cercanas a las reales. Las aleaciones de aluminio son las más utilizadas para estos modelos, debido a que es un metal ligero, fácil de maquinar y posee buena resistencia a la corrosión.

El latón es también útil, debido a que es fácil de trabajar, tiene alta resistencia a la corrosión y se obtienen buenas tolerancias. Los metales ferrosos no se pueden utilizar debido a que tienden a corroerse con mucha facilidad; pero por el contrario, los aceros inoxidable austeníticos poseen buena resistencia a la corrosión.

Los modelos de metal, cuando se fabrican, deben de diseñarse más grandes de lo normal, debido a la contracción que sufre el metal al momento en que éste se enfría. Las tolerancias con las que se deben de diseñar los modelos de metal deben de ser de alrededor del 1 al 1.5% del total de su dimensión real.

3.4.- Secado del molde.

El secado del molde es de suma importancia en la producción de piezas de alta calidad. Se debe de tener un cuidado especial en la elección del equipo de moldeo, especialmente cuando se calcule el tiempo y la temperatura de secado. El tiempo de secado depende generalmente del espesor de la pieza, ya que un molde con mayor espesor concentra más humedad en su interior y por lo consiguiente, tarda más tiempo en disipar toda esa humedad hacia el exterior.

Como mínimo a considerar, el secado de los moldes debe ser por lo menos de 72 horas para poder obtener piezas libres de porosidad. Para poder acelerar el tiempo de secado del molde, se puede suministrar aire comprimido en el interior de los moldes que posean poca permeabilidad.

CAPÍTULO 4

DESARROLLO PRÁCTICO

4.1.- Corte del material

Por principio de cuentas, el material utilizado en esta tesis lo aportó la Universidad Nacional Autónoma de México por medio del Instituto en Investigaciones de Materiales (I.I.M.). El material aportado fue alrededor de 5 kg de Zinalco; una vez obtenido el material necesario, se continuaron los estudios pertinentes con esta tesis.

En forma inicial se cortó el material en pequeños trozos, debido a que el tamaño y diámetro del crisol del horno de fundición, eran muy pequeños.

El corte del material se realizó con la ayuda de una cortadora vertical y de una cortadora automática tipo horizontal. El material que se ocupó para poder haber realizado todos los estudios necesarios, fue aproximadamente la mitad del proporcionado por el I.I.M.

4.2.- Maquinado de los modelos

Los modelos utilizados en nuestro proceso de fundición fueron 2. Estos se utilizaron para que, una vez obtenido los moldes de fundición, fueran depositados dentro de ellos, para que de este modo se obtuviera la forma del modelo, y así poder vertir el metal fundido dentro de la cavidad que se formó en el molde. Los modelos se fabricaron en un torno paralelo, y el material utilizado fue un acero de bajo carbono 1020 ó comercialmente llamado cold-rolled.

En la figura 4.1, se muestra el dibujo con las dimensiones empleadas en los modelos.

4.3.- Preparación de los moldes de fundición.

Los moldes que se utilizaron en este proceso de fundición fueron de un material de asbesto-cemento; con dimensiones de 5" de diámetro por 6" de longitud. La preparación de los moldes se inició con la mezcla del yeso con el agua.

Inicialmente, se colocó en un recipiente aproximadamente 1.5 kg de yeso por 100 ml de agua por cada ración; con estas cantidades de yeso y de agua, se procedió a realizar un movimiento giratorio para poder mezclar muy bien los dos elementos y, de este modo, se tuviera una buena consistencia.

Posteriormente, conforme se mezcló adecuadamente la mezcla, se agregó otra cantidad similar de yeso y de agua, pero en este caso se tuvo que realizar con más rapidez para evitar que el yeso se endureciera, ya que endurecido el yeso, nuestro molde no serviría para nada. Después de que la mezcla estaba correctamente preparada, se dispuso a verter el yeso en el interior del molde de asbesto-cemento. Ya vertido el yeso y formado nuestro molde, y antes de que el yeso se endureciera dentro del mismo, se colocó en la parte superior del molde el modelo previamente maquinado, para que de este modo se imprimiera la forma del modelo, y en la cavidad que formara éste, el material fuera vertido.

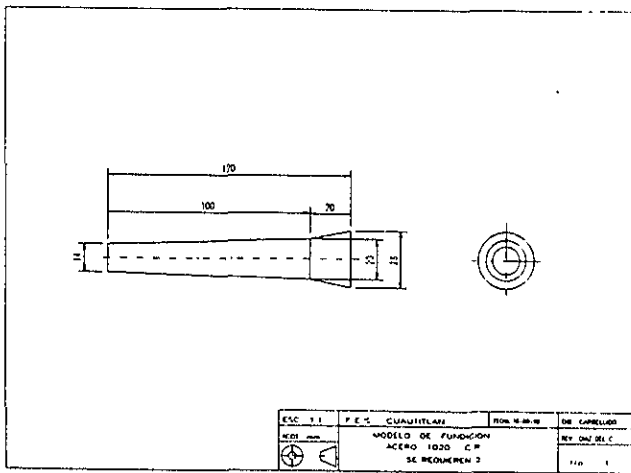


Figura 4.1.- Modelo de fundición.

Todo el proceso antes descrito, se realizó de la misma manera para obtener primeramente 2 moldes, ya que sólo se tenían 2 modelos. Después de haber introducido los modelos en los moldes, se esperó durante 3 días para que los moldes estuvieran completamente secos y no presentaran indicios de humedad. La humedad, en este caso, pudo haber afectado considerablemente a las probetas obtenidas, ya que éstas pudieron haber presentado porosidad y hubieran alterado sus estudios posteriores, así como su metalografía. Si el yeso no se hubiera comportado como un elemento permeable, el molde hubiera conservado mucha humedad en su interior. De este modo, debido a que el material al ser vertido en el molde posee una temperatura muy elevada, los gases de la evaporación provocados por la humedad del yeso, intentarían tratar de salir conforme el material se vertiera impidiéndole la entrada y así, salir expulsado el metal del molde.

4.4.- Fundición del metal.

La fundición del Zinalco se realizó en un horno eléctrico ELRUS TECHNICAL PRODUCTS modelo H.M. Como primer paso para llevar a cabo la realización de la fundición del material, se dejó que el horno alcanzara una temperatura moderada, con el fin de que la temperatura se distribuyera uniformemente en las paredes del horno, es decir, se dejó que se calentara alrededor de 80 °C, para posteriormente depositar el material en el crisol del horno.

Mientras que el material alcanzó su punto de fusión, se procedió a preparar el molde para llevar a cabo la primer colada. El modelo se sacó del molde para recubrir el interior del molde con grafito, y así, una vez que el material solidificara, poder sacar la pieza con facilidad sin que el material sufriera algún daño por mal trato, y al mismo tiempo, que el grafito ayudara a mejorar la superficie final de la pieza. El material se dejó dentro del horno hasta que alcanzó una temperatura de 500 °C. Durante la fusión del metal, se iba agregando material conforme se observaba que era necesario.

El crisol, en su parte más baja, se sostuvo con la ayuda de unas pinzas, mientras que con otras pinzas se sostuvo de la parte más alta. Posteriormente se realizó el vertido del material al molde. El material se calentó por encima de su punto de fusión, para que al momento de realizar la colada, éste no llegara a solidificarse antes de poder ser vertido completamente en el molde.

Posteriormente, con unas pinzas se sacó la probeta del molde con mucha facilidad, debido a que el interior del molde se había agregado grafito. De este modo, se llevó a cabo exactamente el mismo procedimiento para las siguientes 3 coladas. Una vez obtenidas las 4 probetas requeridas, se procedió a realizar las siguientes pruebas: tratamiento térmico, microscopía óptica, examen microscópico, prueba de tensión, prueba de dureza y difracción de rayos x.

4.5.- Tratamiento térmico.

Un tratamiento térmico es una serie de enfriamientos y calentamientos los cuales son estrictamente controlados, que se aplican a los metales en estado sólido para obtener determinadas características mecánicas.

En este caso, se realizó un tratamiento térmico de estabilización a una de las probetas, con el fin de que sus microconstituyentes alcanzaran un estado de equilibrio, y así, poderla compararla con la probeta a la cual no se le aplicó tratamiento térmico. A la probeta designada con el número 1, no se le aplicó tratamiento térmico. A la probeta designada con el número 2, se le aplicó el tratamiento térmico de estabilización. El tratamiento térmico se realizó en un horno SYBRON THERMOLYNE 2000 durante una hora a una temperatura de 150 °C. De éste modo, una vez que se cumplió el tiempo indicado, se sacó la probeta del horno para dejarse enfriar al aire.

4.6.- Microscopía óptica.

La microscopía óptica consiste en el estudio de la constitución y la estructura de los metales y las aleaciones. Al realizar un estudio de la microestructura, resulta muy útil poder determinar si un metal o una aleación cumple con las especificaciones en relación con los trabajos mecánicos previamente realizados, los tratamientos térmicos aplicados y su composición en general. Este tipo de estudio permite llevar a cabo un análisis de las fallas que se llegaron a presentar en los metales estudiados.

A continuación se describen cada uno de los 4 pasos que se siguieron para realizar el estudio en cuestión:

- A) Proceso de corte transversal.
- B) Desbaste.
- C) Pulido y,
- D) Ataque Químico.

A) Corte transversal.

El proceso de corte transversal de las probetas se llevó a cabo en una cortadora de metales BUEHLER LTD. provista de aceite soluble usado como refrigerante. De la probeta denominada con el número 1, se obtuvieron 3 muestras, éstas muestras se identificaron de la siguiente manera: 1.1, 1.2 y 1.3.

A partir de la probeta número 2, también se obtuvieron 3 muestras numerándose de la siguiente manera: 2.1, 2.2 y 2.3. Las seis muestras obtenidas tuvieron dimensiones de 5/8" (16 mm) de diámetro por 1/2" (12.7 mm) de espesor.

B) Desbaste.

El objetivo del desbaste es el de obtener una superficie plana en las muestras, libre de cualquier marca que pudieran haber dejado las herramientas, y en la que todas las marcas del desbaste tienen la misma dirección, con el objeto de realizar un mejor estudio y determinación de sus microestructuras.

El desbaste consiste en lijar las muestras sobre una superficie plana y dura, deslizándolas a través de toda la lija, con el fin de obtener líneas paralelas en un mismo sentido. Las lijas utilizadas para realizar este proceso fueron lijas de agua del número 400, 500 y 600. El desbaste grueso se llevó a acabo con la lija del número 400, el desbaste mediano con la del número 500 y la del desbaste fino con la del número 600.

El desbaste de las muestras se llevó a cabo de la siguiente manera. Primeramente, se cortó un pedazo de lija del número 400. Se colocó encima de una superficie dura, y se comenzó el proceso de desbaste de la primera muestra. Durante el desbaste de las muestras, se agregó agua a la lija cada determinado tiempo para evitar que las muestras se calentaran y se alteraran sus microestructuras. Ya que se terminó de desbastar la superficie de la muestra, y que todas las líneas formadas estuvieran paralelas y en la misma dirección, se procedió a realizar el desbaste de la misma muestra, pero ahora con la lija del número 500.

Al momento de comenzar el siguiente desbaste, la muestra se giró 90° , de tal modo que ahora las líneas formadas (y eliminadas las anteriores), fueran perpendiculares a las anteriores. De este modo, se procedió de la misma forma hasta completar el desbaste final con la lija del número 600. Todo el proceso de desbaste antes descrito, se realizó para las 6 probetas obtenidas. En la figura 4.2, se muestra gráficamente la forma en la cual deben de quedar las líneas de las muestras al llevar a cabo cada desbaste. Cada muestra representa un giro de 90° .

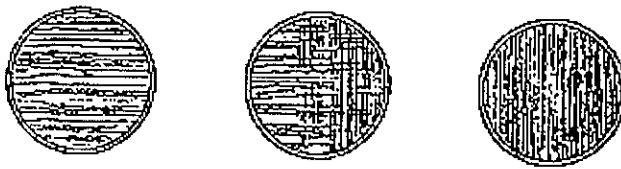


Figura 4.2.- Representación gráfica de un desbaste.

C) Pulido.

Este procedimiento se basa en el uso de una rueda giratoria cubierta con un paño, a la cuál se le agrega un compuesto químico en polvo llamado alúmina (Al_2O_3). La utilidad de la alúmina es la de obtener una superficie libre de rayaduras para poder observar con más claridad los límites de grano y la microestructura de las muestras en el microscopio. La alúmina utilizada en este caso tenía un tamaño de partícula de $1 \mu m$.

Una vez que la rueda de pulido empezó a girar, la muestra se sostuvo con la mano para ser presionada contra el paño. El movimiento de la muestra se realizó en dirección radial y en sentido contrario al de rotación. La presión de la muestra sobre el paño debe ser pequeña, ya que si se presionara con mayor fuerza, el paño se podría romper ocasionando con esto que la muestra se raye. Periódicamente se agregó alúmina al plato rotatorio para que se obtuviera un mejor pulido en las muestras.

Durante el pulido de las muestras, se dejó un goteo de agua constante sobre el paño para que actuara como refrigerante y las muestras no se calentaran.

Para determinar el momento en que una muestra ya obtuvo el pulido deseado, es en el momento en que la muestra obtuvo un pulido denominado "*pulido espejo*", de éste modo, una vez alcanzado este pulido en cada una de las 6 probetas, se procedió a realizar el ataque químico.

D) Ataque químico.

Un reactivo común para realizar el ataque químico de ésta aleación es el nital, que está compuesto de alcohol y ácido nítrico al 2%. El nital se vierte en un recipiente, y la muestra se sumerge durante cinco segundos para que el ataque químico sea el adecuado. Posteriormente, se lavó con agua, se enjuagó con alcohol y se secó con un pedazo de algodón.

El hecho de limpiar las muestras con alcohol, es con el fin de que la muestra se limpie superficialmente, eliminándose con esto cualquier impureza que se pudiera haber quedado en las muestras.

Todo el proceso anterior, se realizó para cada una de las 6 muestras obtenidas.

4.7.- Examen microscópico.

Una vez que las muestras estuvieron pulidas y atacadas debidamente, se procedió a realizar el estudio microscópico para poder observar las microestructuras presentes en las muestras con tratamiento y sin tratamiento térmico. El aparato utilizado fue un microscopio metalográfico provisto con un ocular 10x y objetivos de 6.5x, 10x y 40x, con una cámara fotográfica integrada para la posterior obtención de las fotografías de la estructura de las muestras.

Las muestras se colocaron en la platina del microscopio de modo que su superficie estuviera en forma perpendicular al eje óptico; posteriormente se observó con ampliificaciones distintas. Las muestras tuvieron que estar totalmente limpias de cualquier impureza que pudiera estar presente en ellas, ya que cualquier señal de ellas podría distorsionar la imagen al observarlas en el microscopio.

Las muestras que se eligieron para el estudio fueron: la muestra 1.2 sin tratamiento térmico y la muestra 2.1 con tratamiento térmico. De éstas muestras, se tomaron varias fotografías de las mejores imágenes de las microestructuras. Para poder haber obtenido fotografías de alta calidad, se eligió un rollo fotográfico de 35 mm con una sensibilidad de película de 200 ASA.

En la figura 4.3, se muestra un microscopio metalográfico similar al que se utilizó en nuestro estudio.

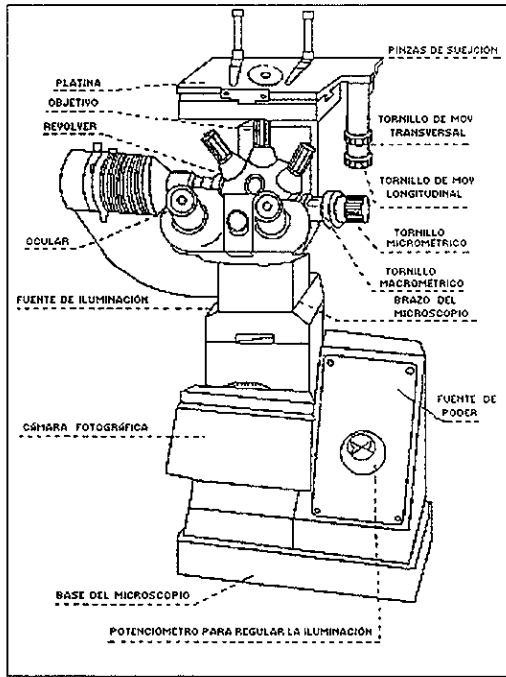


Figura 4.3.- Representación esquemática de un microscopio metalográfico.

4.8.- Prueba de tensión.

La prueba de tensión es uno de los medios más útiles que se emplean para determinar algunas propiedades mecánicas de los materiales. De las 4 probetas obtenidas de fundición, 2 de ellas fueron sometidas a pruebas de tensión.

El maquinado de las probetas para efectuar la prueba de tensión, se realizó en un torno paralelo, y una vez obtenida la forma adecuada, se procedieron a realizar las pruebas necesarias. En la figura 4.4 se muestra el dibujo con las dimensiones de las probetas que se sometieron a la prueba de tensión.

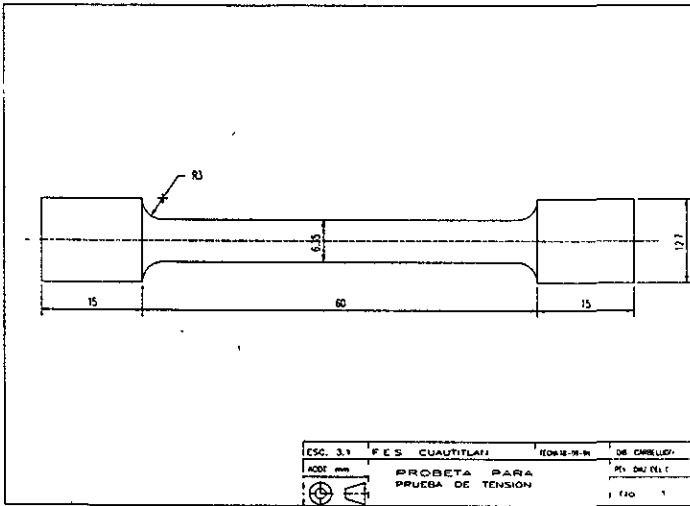


Figura 4.4.- Representación gráfica de las probetas maquinadas.

El procedimiento se efectuó a temperatura ambiente, y la carga de tracción se aplicó automáticamente. La máquina utilizada para llevar a cabo las pruebas, fue una máquina de tensión marca DILLON de marcha automática con capacidad para 5 toneladas. En la figura 4.5 se muestra una máquina de tensión similar a la que se utilizó.

La prueba de tensión se realizó de la siguiente manera:

1. La probeta se sujetó entre las dos mordazas, apretándose con fuerza los tornillos de las mismas para que la probeta quedara inmóvil.
2. Se dio marcha al motor que hace mover a la mordaza móvil hacia abajo; de este modo, la mordaza se fue deslizando hacia abajo hasta que el dinamómetro registró la carga máxima soportada por el material.
3. Al observar la ruptura que manifestó el material, se analizó a que tipo correspondía de acuerdo a la carga registrada, y se comparó con los tipos de fracturas más comunes.

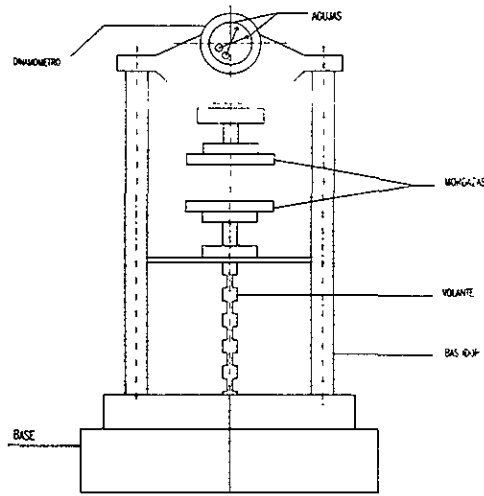


Figura 4.5.- Máquina de tensión.

En la figura 4.6, se muestran los tipos de fracturas más comunes que se llegan a manifestar al ser aplicada una prueba de tensión.

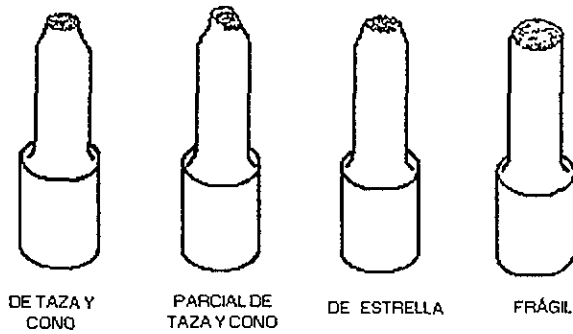


Figura 4.6.- Fracturas típicas.

El procedimiento se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. Se seleccionaron las pesas adecuadas y se colocaron en la parte trasera del durómetro. Se eligió el tipo de penetrador a utilizar dependiendo del tipo de dureza a manejar; en este caso se utilizó la dureza Rockwell en la escala B y el tipo de penetrador fue del tipo de bola de 1/16 " de diámetro.
2. Se colocaron las muestras respectivas en el yunque del durómetro. En este caso, primero se realizaron las pruebas de las muestras sin tratamiento térmico en el siguiente orden; 1.2 y 1.4. Posteriormente se realizaron las pruebas de las muestras con tratamiento en el siguiente orden; 2.1 y 2.3.
3. Se levantó la palanca de operación, y se giró lentamente el manubrio para que el yunque pudiera subir hasta el punto en que el penetrador tocara la superficie de la muestra. Posteriormente se siguió girando el manubrio hasta que la aguja grande de la carátula diera tres vueltas y se detuviera en la posición de cero (doce horas).
4. Se soltó la palanca de operación haciéndola girar hacia atrás, de tal modo que la carga se comenzara a registrar al momento de que el penetrador penetrara en la superficie de la muestra.

Después de que la aguja se detuvo, se regresó la palanca hacia la posición original y se procedió a registrar los valores de la dureza obtenidos en cada prueba.

4.10.- Estudio de difracción de rayos x.

Para poder realizar este estudio, se cortaron pequeñas muestras en la cortadora disponible en el laboratorio, con un espesor de 2 mm como mínimo debido a que el aparato de difracción así lo requería. Posteriormente se sometieron a un desbaste con el fin de obtener una superficie perfectamente plana. Las probetas elegidas fueron la 1.3 y la 2.2, sin tratamiento y con tratamiento térmico respectivamente.

Para poder obtener buenos resultados, se dieron las siguientes condiciones para ser aplicadas en el estudio :

1. Ángulo 2θ de prueba de 30° a 60° .
2. Obtener el registro de la distancia interplanar en cada pico de difracción.

El análisis se realizó con ayuda de un difractómetro marca Siemens modelo D5000, existente en Campo 1 de la FES - C.

CAPÍTULO 5 RESULTADOS

5.1.- Microscopía óptica

Las microfografías que se muestran en las figuras 5.1 , 5.2 , 5.3 y 5.4 dejan ver que las probetas obtenidas directamente de fundición y aquellas tratadas térmicamente están constituidas fundamentalmente por dendritas (fase α y fase β sin transformar). En las zonas interdendríticas se puede apreciar una mezcla laminar de las fases α y η producto de la transformación eutéctica a 382 °C. Nótese que no hay una diferencia sustancial entre el material obtenido directamente de fundición y el material tratado térmicamente.

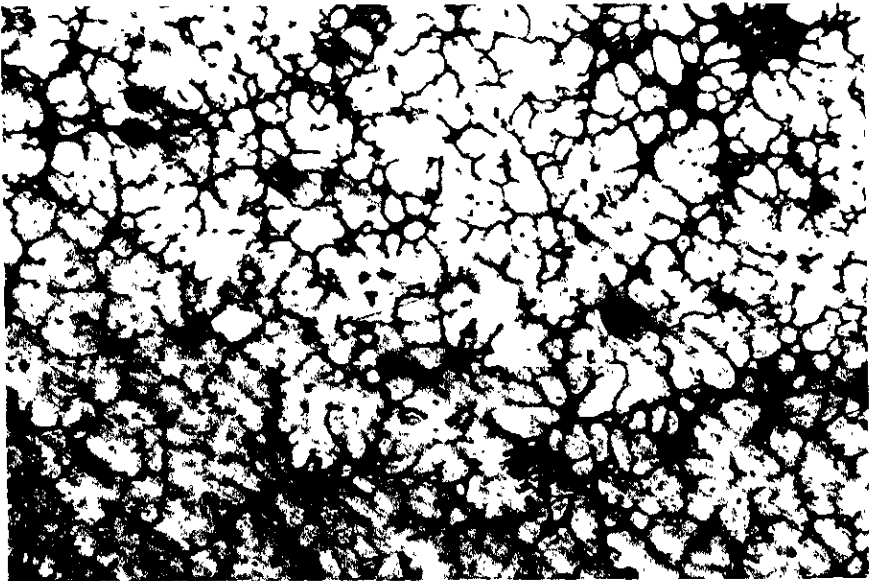


Figura 5.1.- Fotomicrografía de la aleación comercial Zinalco colada en molde de yeso obtenida directamente de fundición 100X.

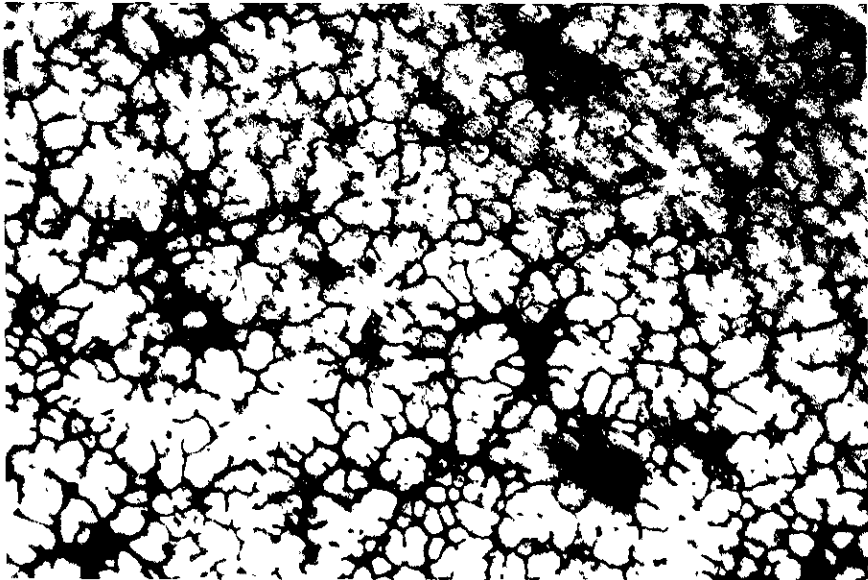


Figura 5.2.- Fotomicrografía de la aleación comercial Zinalco colada en molde de yeso obtenida directamente de fundición 100X.

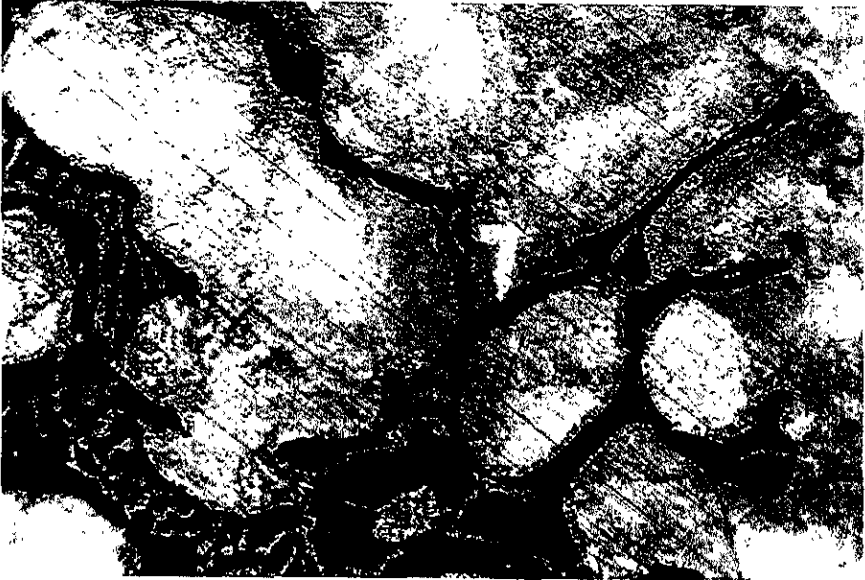


Figura 5.3.- Fotomicrografía de la aleación comercial Zinalco colada en molde de yeso tratada térmicamente a 150°C durante una hora 400X.

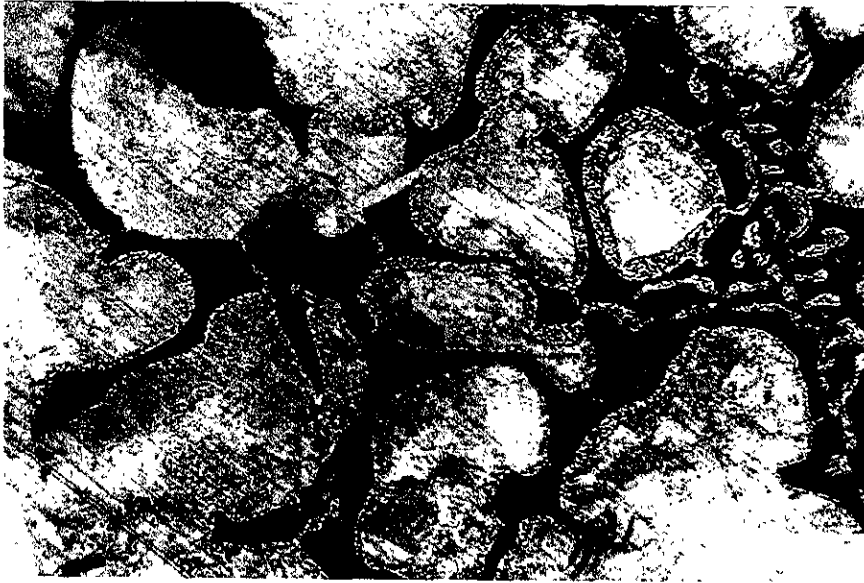


Figura 5.4.- Fotomicrografía de la aleación comercial Zinalco colada en molde de yeso tratada térmicamente a 150°C durante una hora 400X.

5.2.- Dureza

Se realizaron 5 pruebas de dureza a cada muestra con y sin tratamiento térmico, obteniéndose los resultados mostrados en las siguientes tablas :

Tabla 3. Muestras sin tratamiento térmico.

PROBETA	LECTURA					PROMEDIO (PROBETAS 1.2 Y 1.4)
	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA	CUARTA	QUINTA	
1.2	47.5 R _B	47 R _B	45 R _B	46 R _B	48.5 R _B	48.55 R _B
1.4	52 R _B	56 R _B	50 R _B	51.5 R _B	42 R _B	

Tabla 4. Muestras tratadas térmicamente.

PROBETA	LECTURA					PROMEDIO (PROBETAS 2.1 Y 2.3)
	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA	CUARTA	QUINTA	
2.1	48.5 R _B	52 R _B	45 R _B	41 R _B	38.5 R _B	47.05 R _B
2.3	52 R _B	51.5 R _B	44 R _B	50 R _B	48 R _B	

5.3.- Prueba de tensión

Los valores de la carga máxima que se obtuvieron al haber efectuado la prueba de tensión en las probetas con y sin tratamiento térmico, son:

Probeta sin tratamiento térmico : 620 kg

Probeta con tratamiento térmico : 640 kg

Posteriormente, con la ayuda de la ecuación de esfuerzo normal, se calculó la resistencia máxima del material.

$$\sigma = P / A$$

Donde : σ = Esfuerzo normal

P = Carga máxima aplicada

A = Área transversal de la probeta

Sabiendo que el diámetro de la probeta fue de 6.3 mm, se calculó el área transversal de la probeta con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$A = \pi D^2 / 4$$

Donde :

A = Sección transversal de la probeta

D = Diámetro de la probeta

Por lo tanto, después de haber realizado los cálculos, las resistencias obtenidas sin y con tratamiento térmico son las siguientes :

$$\text{Sin tratamiento térmico: } \sigma = 195.1 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 195.1 \text{ Mpa}$$

$$\text{Con tratamiento térmico: } \sigma = 201.4 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 201.4 \text{ Mpa}$$

5.4.- Difracción de rayos x

A partir de los estudios realizados a través de la difracción de rayos x, se obtuvieron 2 difractogramas (Apéndice A). El primero de ellos se trata del difractograma correspondiente al material obtenido directamente de colada, y el segundo al correspondiente a la muestra tratada térmicamente.

Luego, con ayuda de la Ley de Bragg que establece lo siguiente:

$$n\lambda = 2d \text{ sen } \theta$$

Donde :

$$n = 1 \text{ (orden de difracción)}$$

$$\lambda = \text{Longitud de onda del rayo x empleado}$$

$$d = \text{Distancia interplanar}$$

$$\theta = \text{Ángulo de difracción}$$

y con la ayuda de la bibliografía consultada, se pudo identificar a las siguientes fases:

FASE α que es rica en aluminio con una estructura FCC,

FASE η' que es una fase metaestable rica en zinc y con estructura HCP y,

FASE ε la cual es el compuesto intermetálico CuZn_4 y con una estructura HCP.

Así, las fases identificadas, su estructura y los planos de difracción identificados, se presentan en las tablas 5 y 6.

Tabla 5. Planos de difracción del material obtenido directamente de colada.

PICO No.	ÁNGULO DE DIFRACCIÓN 2θ (Grados)	DISTANCIA INTERPLANAR - d - Å	FASE	ESTRUCTURA	PLANO DE DIFRACCIÓN	INTENSIDAD DEL HAZ DIFRACTADO (%)
1	36.809	2.4397	η'	HCP	(0002)	20.86
2	37.441	2.400	ε	HCP	(10T0)	5.73
3	38.565	2.3326	α	FCC	(111)	19.88
4	38.903	2.3131	η'	HCP	(10T0)	22.65
5	42.015	2.1487	ε	HCP	(0002)	3.70
6	43.260	2.0897	η'	HCP	(10T1)	100
7	44.803	2.0212	α	FCC	(200)	9.83
8	54.628	1.6786	η'	HCP	(10T2)	10.51

Tabla 6. Material correspondiente a la muestra tratada térmicamente.

PICO No.	ÁNGULO DE DIFRACCIÓN 2θ (Grados)	DISTANCIA INTERPLANAR - d - Å	FASE	ESTRUCTURA	PLANO DE DIFRACCIÓN	INTENSIDAD DEL HAZ DIFRACTADO (%)
1	36.716	2.446	η'	HCP	(0002)	21.42
2	37.608	2.3897	ε	HCP	(10T0)	4.56
3	38.631	2.3287	α	FCC	(111)	19.27
4	39.013	2.3068	η'	HCP	(10T0)	22.40
5	42.139	2.1427	ε	HCP	(0002)	3.73
6	43.330	2.0864	η'	HCP	(10T1)	100
7	44.886	2.0177	α	FCC	(200)	9.60
8	54.681	1.6772	η'	HCP	(10T2)	11.16

De acuerdo a los difractogramas obtenidos (Apéndice A), a continuación se presentan en las tablas 7 y 8, los parámetros de red calculados de las fases identificadas en cada difractograma donde se comparan con los parámetros de equilibrio.

Tabla 7. Parámetros de red de las fases identificadas en el material sin tratamiento térmico

FASE	ESTRUCTURA	PARÁMETROS DE RED CALCULADOS (Å)		PARÁMETROS DE RED DE EQUILIBRIO (Å)	
		a	c	a	c
η'	HCP	2.6693	4.879	2.6648	4.947
α	FCC	4.044		4.049	
ϵ	HCP	2.767	4.2974	2.75	4.28

Tabla 8. Parámetros de red de las fases identificadas en el material tratado térmicamente.

FASE	ESTRUCTURA	PARÁMETROS DE RED CALCULADOS (Å)		PARÁMETROS DE RED DE EQUILIBRIO (Å)	
		a	c	a	c
η'	HCP	2.6636	4.892	2.6648	4.947
α	FCC	4.0334		4.049	
ϵ	HCP	2.7593	4.2854	2.75	4.28

Resumiendo, se puede establecer que las fases α , η' y ϵ coexisten en el material sin tratar y en el que se ha tratado térmicamente, sin embargo, se puede observar que en éste último la intensidad del pico correspondiente a la fase ϵ ($2\theta = 37.441^\circ$) sufrió un decremento del 20%, lo cual implica que dicha fase se ha transformado en otra(s) lo cual podría confirmarse con un ligero incremento en la intensidad del pico correspondiente a la fase η' ($2\theta = 36.8^\circ$) siendo aproximadamente del 3% dicho aumento. También se puede establecer que la fase η' no alcanzó su equilibrio durante el tratamiento térmico, basándose en los parámetros calculados y de equilibrio, sin embargo, se puede notar que el parámetro "c" de red aumentó de 4.879 Å a 4.892 Å, lo que significa que trató de alcanzar el parámetro de equilibrio de 4.947 Å mediante la segregación de algunos de algunos de los elementos que en éste caso, puede ser el cobre (radio atómico más pequeño).

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas (microscopía óptica, medidas de dureza, prueba de tensión y difracción mediante rayos x), se pueden establecer las conclusiones siguientes:

1. El Zinalco es un material de fácil de adquisición debido a que su principal elemento es el zinc (76%p) el cual existe en grandes cantidades en nuestro país, y es por eso que es factible considerar a este material para futuros diseños.
2. Los difractogramas obtenidos muestran que las fases presentes en el material son: α , η' y ϵ , siendo estas dos últimas fases metaestables.
3. Las fases metaestables η' y ϵ no alcanzan su equilibrio durante el tratamiento térmico, sin embargo, se pudo visualizar que η' trata de hacerlo, aún cuando el tiempo de tratamiento no fue suficiente.
4. El zinalco fundido en molde de yeso muestra propiedades mecánicas moderadas, por lo que sólo será factible su uso en aplicaciones no críticas.
5. La dureza del material tratado térmicamente disminuyó en 3.1%.
6. La resistencia a la tensión del material tratado térmicamente aumentó en 3.2%, lo cual es un poco incongruente con lo establecido en el punto anterior, ya que es de esperarse de que si la dureza disminuyó también debe hacerlo la resistencia a la tensión.

7. Las propiedades mecánicas (dureza y resistencia mecánica) sufren un cambio muy pequeño con el tratamiento térmico, por lo cual, el zinalco no es muy propio para trabajar bajo grandes esfuerzos mecánicos.

Como conclusión general del trabajo realizado, se puede establecer lo siguiente:

Definitivamente, el zinalco fundido en molde de yeso no resultó ser el material esperado para poder sustituir, en determinados campos de trabajo, al aluminio; debido a que el zinalco es más pesado y sus propiedades mecánicas son moderadas.

El zinalco puede ser apropiado para poder utilizarlo en aplicaciones donde no se necesite una gran resistencia mecánica y que la temperatura de operación no exceda de 90°C.

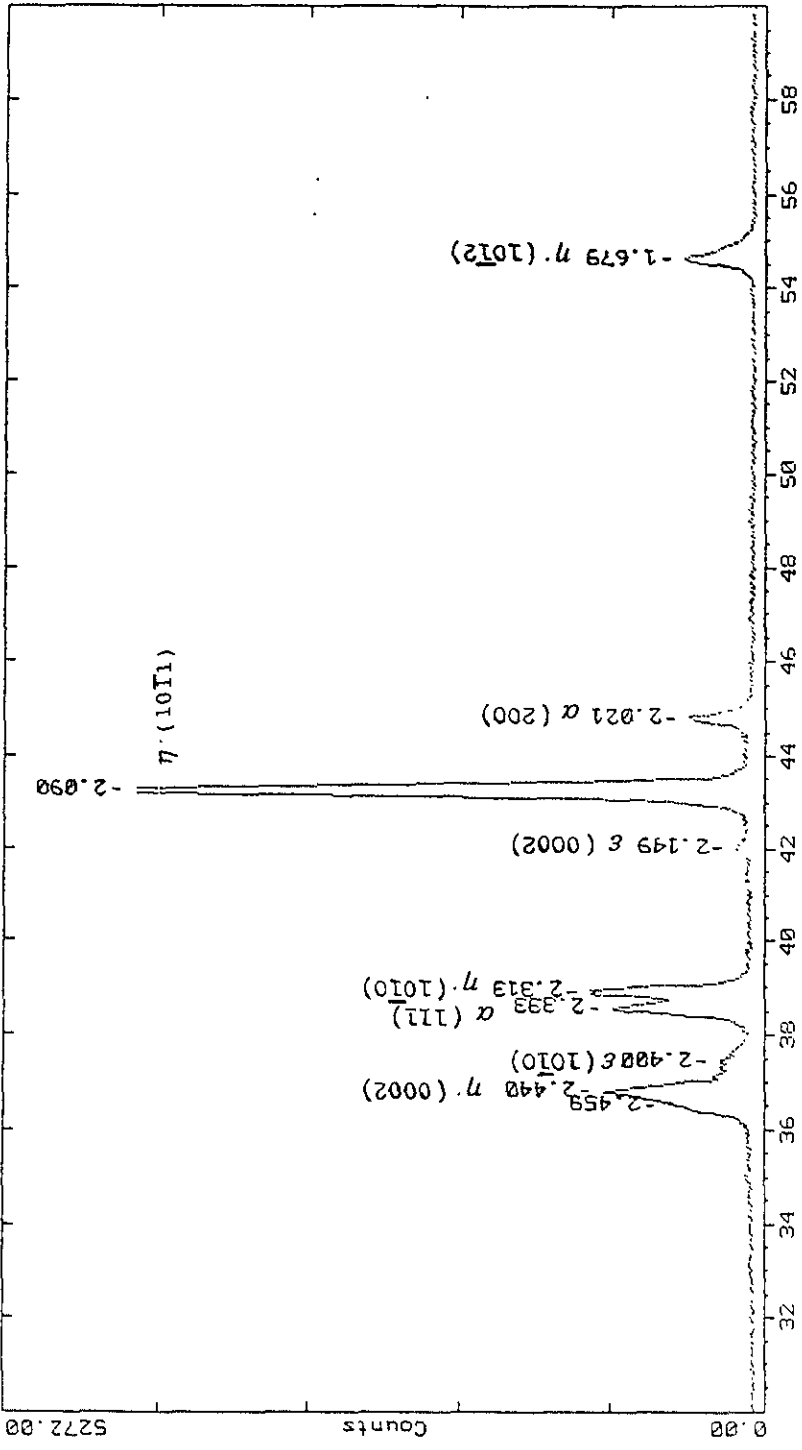
BIBLIOGRAFÍA

1. REVISTA LATINOAMERICANA DE METALURGIA Y MATERIALES, Vol. 5. número 2, 1985. Pp. 149-159.
2. REVISTA MEXICANA DE FÍSICA, Vol. 37, Número 1, 1991, Pp. 104-114.
3. AMERICAN FOUNDRYMEN 'S SOCIETY, "Molding Methods and Materials".
4. MATERIALS SCIENCE FORUM. VOLS. 243-245 (1997). Pp. 553-556 ©1997 Transtech Publications, Switzerland. Instituto De Investigaciones En Materiales - UNAM, AP.P. 70-360, MÉXICO, D.F. 04510 MÉXICO. Instituto De Metalurgia - Universidad Autónoma De San Luis Potosí.
5. VALDÉS H. LUIS, ESTRADA P. IRMA , NEGRETE JESÚS, TORRES GABRIEL V. "VII Congreso De La Academia Nacional De Ingeniería, Oaxaca, México, 1981". Depto. De Ciencias Materiales De La Esfm Del IPN. Instituto De Geología Y Metalurgia De La U.A.S.L.P. Instituto De Investigaciones En Materiales UNAM. Pp. 259-262.
6. MENDOZA MOISÉS L. , OSORNIO CUITLÁHUAC C. , TORRES GABRIEL V. "VII Congreso De La Academia Nacional De Ingeniería, Oaxaca, México, 1981". Facultad De Ingeniería De La UNAM. Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM. Pp. 244-247.
7. TORRES VILLASEÑOR, Y. H. ZHU AND C. PIÑA. "Advances In Science, Technology And Applications Of Zn-AL Alloys". Edited By G. MÉXICO 1994. Pp. 77-87.

8. HINOJOSA TORRES J., MONTEMAYOR ALDRETE J. Y TORRES VILLASEÑOR G. "Microestructura Y Propiedades Mecánicas De La Aleación Zn-22 %Peso al - 2%Peso Cu, Obtenida Por Colada Semicontinua".
9. ZHU Y. H. "Microstructural Changes In Welded Zn-Al Alloy", J. Mater Res. 11 593 (1996) .
10. ZHU Y. H. "Creep Induced Phase Transformation In As Cast Zn-Al Alloy" , J. Mater, 15, 1358 (1996) .
11. ZHU Y. H. "Tensile Stress Induced Microstructural Change And Phase Transformations In Extruded Zn-Al Alloy" , J. Mater. Sci. Lett, 15, 1888 (1996) .
12. ZHU Y. H. And E. OROZCO "Reply To Discussion Of Tensile Stress On Microstructural Change Of Eutectoide Zn-Al Alloy", Metall And Mater. Trans. A 27a, 3332 (1996) .
13. R. ASKELAND, Donald "La Ciencia E Ingeniería De Los Materiales", Editorial Grupo Editorial Iberoamericana, S.A de C.V., México, 1987.
14. YU. M. Lajtin, "Metalografía y Tratamiento Térmico De Los Metales", Editorial Mir Moscú, Mir, 1973.
15. CALVO A. Felipe, "Metalografía Práctica", Editorial Alhambra, S.A de C.V. Primera Edición, España, 1972.
16. BEELEY, "Foundry Technology", Editorial London Butterworths, Inglaterra, 1972.

17. TORRES VILLASEÑOR G., YAO HUA ZHU AND PIÑA BARBA C. "Recent Advances In Science, Technology And Applications of Zn-Al Alloys", March 29-30, 1994.

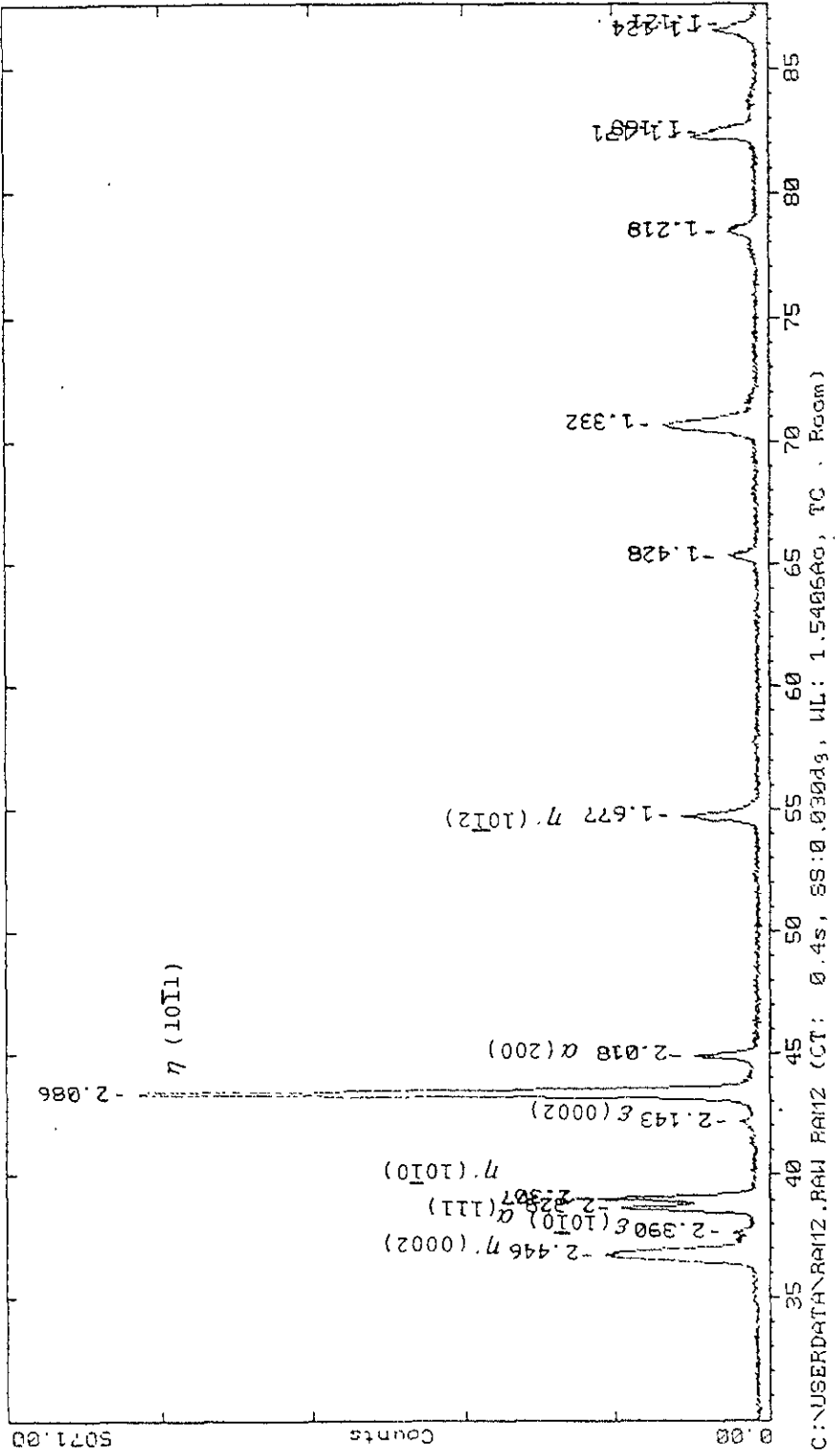
18. TORRES VILLASEÑOR G., NEGRETE SÁNCHEZ J, Y VALDÉS HERNÁNDEZ LUIS A., "El Zinalco Y Su Tecnología", Instituto De Investigaciones En Materiales De La UNAM, Abril, 1984.



C:\USERDATA\RAMO1.RAW RAMI (CT: 0.4s, SS:0.030dg, WL: 1.5406Ao, TC : Room)

2-Theta - Scale

UNIAM CAMPO 1. 24-Aug-1998 17 41



DIFRACTOGRAMA DE LA ALEACION Zn-22Al-2Cu (8Peso)
CORRESPONDIENTE A LA MUESTRA TRATADA TERMICAMENTE DURANTE 1 HORA A 150 C