

50

2 E/10m



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE UN  
LATON SOLIDIFICADO BAJO PRESION**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERA QUÍMICA

P R E S E N T A

MA. CECILIA HERRERA MONTIEL



MEXICO, D. F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1994



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUÍMICA

Jurado Asignado:

Presidente: Prof. César Alejandro Rincón Orta.  
Vocal: Prof. Carlos López Sánchez.  
Secretario: Prof. Andrés Herrera Vázquez.  
1er. Suplente: Prof. Manuel Jesús Aguilar Rodríguez.  
2do. Suplente: Prof. Arturo Ortega Rodríguez.


Sitio donde se desarrolló el tema:

Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán  
Fac. de Química, Instituto de Investigación en  
Materiales, U.N.A.M.

Asesor:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Andrés Herrera Vázquez

Sustentante:

  
\_\_\_\_\_  
Ma. Cecilia Herrera Montiel

**A mis papás y Mónica  
por creer en mí y  
darme todo su apoyo.**

**A mis abuelitos, Mamaca, Pío y Pía  
y a toda mi familia, por su amor  
amistad y comprensión.**

**A mis amigos de años, Dora, Fernando y Horacio, por su amistad incondicional.**

**A mis compañeros y excelentes amigochos Sabri, Aida, Espe, Alex y Areli.**

**A las familias Saldaña, Hernandez, Velasco y Licea, por haberme asistido gran parte de la carrera.**

**A Linda y Raúl Galicia por ser como unos padres para mí.**

**A Insight y la padre gente que formamos parte de él.**

**A mis compañeros y maestros de la Facultad de Química**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Andrés Herrera Vazquez, FES Cuautitlán, UNAM, por haber compartido sus conocimientos conmigo, y haberme ayudado a desarrollar esta tesis.

Ing. Sergio García Galán, Fac. de Química.

Ing. Alfredo Maciel, Polímeros, Instituto de Investigación en Materiales.

Ing. Jaime Martínez Gasca, FES Cuautitlán, UNAM.

## INDICE

<b>1.- RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>2.- INTRODUCCIÓN. ....</b>	<b>3</b>
<b>3.- ASPECTOS GENERALES DE FUNDICIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b><u>3.1. Generalidades sobre la Fusión.....</u></b>	<b>8</b>
3.1.1. Observaciones sobre la Composición.....	9
3.1.2. Hornos de Fusión.....	12
<b><u>3.2 Procesos de Fundición utilizados para la obtención de piezas metálicas .....</u></b>	<b>18</b>
3.2.1 Moldeo en Arena.....	19
3.2.2. Moldeo a la Cera Perdida.....	21
3.2.3. Molde Metálico Permanente.....	22
3.2.4. Fundición por Inyección.....	24
3.2.5. Inyección a Baja Presión.....	25
<b><u>3.3. Tecnología de Fusión del Cobre y sus Aleaciones.....</u></b>	<b>26</b>
3.3.1 Latones.....	27
3.3.2. Bronces y Gunmetals.....	28
3.3.3. Bronces al Aluminio.....	29
3.3.4. Cupro-niquel.....	30
3.3.5 Plata-niquel.....	30
<b><u>3.4. Piezas de Fundición de Aleaciones de Cobre.....</u></b>	<b>30</b>
3.4.1. Fundido a la Forma Final.....	31
<b>4. ALEACIONES DE COBRE UTILIZADAS EN INGENIERÍA.....</b>	<b>38</b>

<b>5. SOLIDIFICACIÓN DE PIEZAS DE FUNDICIÓN.....</b>	<b>41</b>
<u>5.1. Estructura de Grano.....</u>	<b>42</b>
<u>5.2 Estructura Columnar.....</u>	<b>43</b>
<u>5.3 Microsegregación.....</u>	<b>44</b>
<u>5.4 Espaciado de Rama Dendrítica.....</u>	<b>45</b>
<b>6. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES.....</b>	<b>47</b>
<u>6.1. Ensayos de Tracción.....</u>	<b>47</b>
6.1.1. Resistencia Máxima a la Tensión.....	49
6.1.3. Elongación.....	52
6.1.4. Reducción en Área.....	52
<u>6.2. Ensayos de Dureza.....</u>	<b>53</b>
6.2.1. Dureza Brinell.....	54
6.2.2. Dureza Vickers (VHN).....	55
6.2.3. Dureza Rockwell ( $R_A, R_B, R_E$ ).....	55
<b>7.- TRABAJO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>57</b>
<u>7.1 Selección de la Aleación Utilizada.....</u>	<b>57</b>
<u>7.2 Preparación del Molde Utilizado.....</u>	<b>58</b>
<u>7.3 Fusión.....</u>	<b>58</b>
<u>7.4 Obtención de las Piezas Bajo Estudio.....</u>	<b>58</b>
<u>7.5 Metalografía.....</u>	<b>65</b>



<b><u>7.6 Pruebas de Dureza</u></b> .....	<b>65</b>
<b><u>7.7 Pruebas de Resistencia a la Tracción</u></b> .....	<b>66</b>
<b>8. RESULTADOS</b> .....	<b>67</b>
<b><u>8.1. Estructura Metalográfica</u></b> .....	<b>67</b>
<b><u>8.2. Pruebas Físicas y Mecánicas</u></b> .....	<b>73</b>
<b>9. DISCUSIÓN</b> .....	<b>82</b>
<b>10. CONCLUSIONES</b> .....	<b>84</b>
<b>11.- BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>85</b>

## 1.- RESUMEN

Dentro de la gran diversidad de aleaciones de cobre como son los latones (cobre - zinc), los bronce (cobre - estaño), cuproniquels (cobre - níquel), platas níquel (cobre - zinc - níquel), etc., se escogió latón naval, que es una aleación de cobre - zinc - estaño para la realización de este trabajo de investigación. Esta aleación tiene la siguiente composición química:

% Cu	% Zn	% Sn	% Pb	% Fe	% Otros
59/62	resto	0.5/1.0	1.25/2.25	0.10	0.10 max

A esta aleación se le clasifica como material para trabajarse en caliente, como forja y extrusión, y su principal propiedad es su alta resistencia a medios corrosivos.

El proceso de solidificación bajo presión, interés en la realización de la presente tesis, es un método de manufactura que combina el principio de la forja y solidificación en una sola operación, y que ahora surge como un proceso comercial viable. Las piezas obtenidas de este modo, muestran niveles de densidad y propiedades asociados con la forja, combinando el bajo costo unitario característico del moldeo por gravedad o presión atmosférica. La economía del proceso deriva del uso total del metal fundido y de la eficiencia directa de la presión aplicada, reunido en una máquina pequeña.

Los objetivos básicos que se persiguieron al realizar este estudio fueron los siguientes:

- a) Hacer piezas sanas, de grano fino y con estructuras metalúrgicas homogéneas.
- b) Que las propiedades mecánicas de las piezas obtenidas por este proceso sean comparables o similares a las reportadas en las normas internacionales, de las logradas por forja.
- c) Comprobar que es un proceso viable para la industria, por la reducción de costos, tiempo y material.

La importancia de este estudio recae en la posibilidad de mejorar las propiedades mecánicas y la estructura de latones, mediante experimentos de solidificación bajo varias presiones.

## **2.- INTRODUCCIÓN.**

Los productos de la industria de la fundición tradicionalmente han sido fabricados en una sola etapa a partir del metal líquido sin operaciones intermedias de trabajado mecánico como podrían ser, la extrusión o la laminación. Las piezas de fundición se distinguen de esta manera de los lingotes y otras formas coladas, las cuales se encuentran solamente a una etapa intermedia de su proceso metalúrgico.

La simplicidad del proceso de fundición ha dado lugar al establecimiento de una amplia industria con una gran diversidad de productos.

Existe una gran variedad de metales y aleaciones que son utilizadas en la industria de la fundición, cuyo objetivo final es el satisfacer una serie de necesidades industriales, domésticas y/o culturales. Sería tedioso el mencionar todos los metales y sus aleaciones de que hablamos y los cuales pueden ser consultados en cualquier libro de texto ( 1 ).

En nuestro caso por el interés de estudiar la estructura y las propiedades de una aleación industrial, bajo condiciones controladas de laboratorio, hemos escogido una aleación de cobre.

Como sabemos, el cobre ha sido utilizado por el hombre desde hace aproximadamente 6000 años, sus aplicaciones han cambiado conforme las necesidades de los tiempos y con la disponibilidad de mayores conocimientos sobre sus propiedades.

Aproximadamente sobre el año 2500 a.C., se desarrolló la Edad de Bronce con la introducción del estaño al cobre, y esta prevalece aproximadamente 2000 años hasta que la fundición del hierro comienza a ser más popular; sin embargo, el gran ímpetu de la producción del cobre y la determinación de sus propiedades se desarrolló gracias a los

trabajos de Faraday a mediados del siglo XIX. Debido a sus propiedades, su uso fue y ha sido de amplia aplicación en la industria eléctrica.

Sin embargo las propiedades mecánicas del cobre grado comercial, dependen de la composición y del grado de trabajado en frío, las cuales son mostradas en la tabla 2.1:

Tabla 2.1 Típicas propiedades mecánicas de cobre forjado (Todas las variedades comerciales de cobre muestran propiedades dentro de este rango.

Forma	Temple	Rango de tamaño(mm)	Típicas propiedades mecánicas		
			0.1% Proof stress N/mm <sup>2</sup> ( tonf/in <sup>2</sup> )	Fuerza de tensión N/mm <sup>2</sup> ( tonf/in <sup>2</sup> )	% de Elongación
Láminas	Templado	--	46 (3)	215 (14)	50-60
Hoja y Tira	Enrollado en caliente	6.25 grueso	12.5-14.0 (8-9)	215-247 (14-16)	40-50
	Trabajado en frío	0.15-2.5	230 (15)	280 (18)	25-34
Enrollado Varilla	Templado	--	46 (3)	215 (14)	50-55
	Trabajado en frío	6.25-25 diam.	200 (13)	132 (17)	20-30
Alambre	Templado	1.25 diam.	-- --	215 (14)	35
	Estirado en frío	2.55 diam.	-- --	400 (26)	--
Tubo	Templado	--	62 (4)	215 (14)	50
	Estirado en frío	12.5-100 o.d.	185 (12)	280 (18)	30
Secciones extruidas	Extruido y trabajado en frío	3.2-12.5	170 (11)	240 (16)	40
Forja	Trabajado en caliente	75	93 (6)	230 (15)	40

El cobre no muestra un punto de cedencia determinado en su ensayo de tensión, siendo este un comportamiento similar a otros metales no

ferrosos debido a su ordenamiento atómico y a su estructura cristalográfica. A pesar de que las propiedades mecánicas de cobre se elevan con la deformación mecánica, sus aleaciones, particularmente bronce y latones, poseen propiedades mecánicas muy superiores al cobre puro.

El cobre es el metal base de una gran familia de aleaciones las cuales tienen muchas propiedades cercanas a aquellas del metal base mismo y son importantes en un amplio rango de aplicaciones en todas las industrias ingenieriles. Los principales grupos de aleaciones son:

- Cobre de baja aleación; son básicamente el metal de alta pureza con adiciones que mejoran ciertas propiedades sin reducción significativa de los valores de conductividad.

- Latones; son el cobre más zinc (hasta el 45%), a los cuales pueden ser añadidos otros elementos, dando propiedades modificadas; en particular: fierro, manganeso y aluminio, los cuales producen los latones de alta fusión; y plomo y magnesio, los cuales mejoran la maquinabilidad.

- Bronces; son el cobre más estaño (en general hasta el 12%), comunmente combinados con otros elementos para formar por ejemplo: los bronce fosforosos o los gunmetals, los cuales tienen zinc y algunas veces adiciones de níquel.

- Bronces al Aluminio; son cobre más aluminio (hasta aprox. 12%), otra vez con pequeñas adiciones de fierro, manganeso o níquel.

- Cuproníquels; son cobre más níquel (hasta el 30%), algunas veces con fierro.

- Platás-Níquel; son cobre más zinc y níquel.

- Cupro-Silicio (bronces al silicio); son cobre más silicio (aprox. 3%) con fierro o manganeso.
- Bronces al Berilio; son cobre más berilio (aprox. 2%).
- Cobres al Cromo; con un contenido de cromo hasta un 1%.
- Cobre- Circonio; es cobre más circonio (hasta el 0.1%).
- Cobre al Manganeso; es cobre más manganeso (aprox. 50%).

Otro elementos pueden ser añadidos al cobre y a algunas de sus aleaciones, con el fin de darle propiedades específicas, por ejemplo el arsénico hasta el 0.5% mejora la resistencia en caliente, y pequeñas adiciones a algunos de los latones, le dan ciertas propiedades de resistencia a la corrosión. El fósforo es el agente desoxidante común en el cobre y el boro o litio son algunas veces usados como desoxidantes alternativos.

Dada la amplia gama de aleaciones de cobre se ha escogido para este trabajo de investigación, una aleación de cobre-zinc-estaño, conocido como Latón Naval o bronce tobin, con el fin de determinar su estructura y propiedades una vez que ha sido solidificado bajo presión.

Conforme el desarrollo de la ciencia y tecnología de los materiales ha evolucionado en los últimos años, se han planteado procesos alternativos además de los tradicionales para la obtención de piezas metálicas. El método de solidificación bajo presión, el cual consiste básicamente en la combinación de dos operaciones ingenieriles en una sola, como son: la fundición y la forja, se presenta como una alternativa para el mejoramiento de las propiedades mecánicas, el acabado

superficial y un aparente ahorro en energía y en materiales, lo cual se traduce en un menor costo de producción.

En este proceso el metal fundido se vierte en la cavidad de un molde metálico, para inmediatamente después, aplicar presión al metal líquido, dando la forma final dentro del molde <sup>14</sup>.

Este método o proceso en realidad no es nuevo, ya que se tiene conocimiento del mismo desde hace aproximadamente 100 años en la ex-Unión Soviética, en donde ya se utilizaba, sin embargo, no fue hasta la década de los 50's cuando empezó a ser empleado en otras partes del mundo, al ser mejorado el proceso y el producto final.



### 3.- ASPECTOS GENERALES DE FUNDICIÓN

#### 3.1. Generalidades sobre la Fusión.

Las etapas principales en un proceso típico de fundición, son ilustradas en la figura 3.1. Una carga que contiene piezas sólidas de metales y aleaciones de varias formas, tamaños y pureza química, son fundidos en un horno con pared interna refractaria por el suministro de la cantidad requerida de calor.

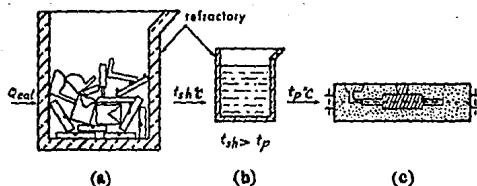


Fig. 3.1. (a) Horno conteniendo lingotes o carga de chatarra calentada a la temperatura de fusión del metal (sobrecalentamiento),  $^{\circ}C$ . (b) Recipiente llenado a intervalos y vaciado del metal a la temperatura de colada,  $^{\circ}C$ . (c) Molde.

La aleación fundida a un sobrecalentamiento adecuado, es transferida a un recipiente "olla", de la cual los moldes son llenados a una temperatura de vaciado adecuada, tp °C. Cuando sea conveniente, los moldes pueden ser llenados directamente del horno.

### **3.1.1. Observaciones sobre la Composición.**

El problema metalúrgico esencial encontrado en los procesos de fusión es el de los cambios en la composición del metal. Con el objeto de producir una pieza con las propiedades requeridas, la aleación fundida debe de ser de una composición específica. Sin embargo, la composición final de la aleación es normalmente obtenida a partir de una carga de una composición inicial diferente, la cual se altera en el curso del proceso de fusión. Además, la aleación fundida debe de tener antes del vaciado, no solamente elementos especificados dentro de los límites requeridos, sino también los elementos indeseables abajo de los límites especificados.

Con muy pocas excepciones los metales existen en la naturaleza como compuestos químicos simples o complejos, frecuentemente combinados con oxígeno o azufre u otros elementos. La extracción y la refinación metalúrgica, la cual está basada en las leyes de la termodinámica química, tiene que ver con el problema de obtener metales "puros" a partir de tales compuestos. Esas leyes también explican el porqué los metales regresan a tales compuestos tan pronto las condiciones externas permiten que esto ocurra. Tales condiciones se encuentran en muchos procesos de fusión de metales, los cuales deberán por lo tanto ser llevados a cabo de tal manera que prevengan o

reduzcan la posibilidad de que el metal se combine con los elementos que lo rodean. Estos se derivan de los siguiente:

- a) La atmósfera normal ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2O$  y  $CO_2$ ), como por ejemplo en los hornos eléctricos de fusión, donde no se aplica protección especial al metal fundido.
- b) Los productos de combustión del diesel, gas o combustibles sólidos usados para la fusión ( $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2O$ ,  $SO_2$  con  $O_2$  y  $N_2$  del aire); con combustibles sólidos los elementos encontrados en las cenizas, tales como fósforo y azufre, pueden también actuar como una fuente contaminante.
- c) Los contenedores refractarios en los cuales el metal es fundido, y no son completamente inertes al metal fundido; contaminación metálica y no metálica como por ejemplo, silicio, aluminio, oxígeno o hidrógeno puede resultar de esta fuente.
- d) Materiales en o sobre la carga y varias herramientas usadas en la fusión como ayuda; la chatarra por ejemplo puede estar cubierta con arena, óxidos o productos de la corrosión; en forma de pedacería puede también contener otros elementos metálicos no metálicos los cuales no pueden ser fácilmente separados; la agitación del metal, el degasado y las herramientas para tomar muestras son también frecuentemente usadas.

Por lo tanto, en cualquier proceso específico de fusión, la composición final depende de la composición de la carga, junto con cualquier cambio durante la fusión.

Desde el punto de vista de cambios de composición, los procesos de fusión se dividen en dos grupos principales: procesos de fusión simples o

directos, y procesos de refinación-fusión. En el primer grupo están aquellos procesos de fusión donde relativamente pequeños cambios de composición ocurren durante la fusión, y muy pocos si algún ajuste es necesario antes del colado. Típicos ejemplos son la fusión al aire de algunas aleaciones de bajo punto de fusión y aleaciones ligeras, o fusión al vacío o en atmósfera protectora de aleaciones de alto punto de fusión. En un proceso en el cual se combina la fusión y la refinación, la carga fundida debe de ser ajustada para obtener la composición requerida.

La tabla 3.1, muestra las propiedades térmicas de aquellos metales sobre los cuales los volúmenes de producción comercial principalmente se basa.

La selección del equipo para fusión y moldeo, deberá basarse en el tipo de aleación y pieza a obtenerse, y por supuesto en factores económicos.

Tabla 3.1 Propiedades y requerimientos de calor para la fundición de metales.

Metal	Requerimientos totales de calor para fundición $L + s$ (m · 20)						
	Punto de Fusión m	Calor específico 20° - m °C s cal/g°C	Calor latente de fusión L cal/g	Para 1 kg kcal	Para 1 litro kcal	Para 1 lb BThU	Para 1ln <sup>3</sup> BThU
	°C						
Hierro	1537	0.141	65.0	279	2204	502	141
Nickel	1453	0.131	72.1	259	2305	466	149
Cobre	1083	0.105	48.9	161	1449	290	93
Aluminio	660	0.237	92.7	244	659	439	43
Magnesio	650	0.289	85.6	268	456	482	29
Zinc	420	0.101	26.3	68	182	122	32
Plomo	327	0.034	5.7	16	187	29	12
Estano	232	0.058	14.2	27	197	49	13

1 kcal = 4.1868 kJ

\* Foundry Technology, P.R. Beeley, Ed. Butterworths, 1972.

### **3.1.2 Hornos de Fusión.**

Muchas fusiones se llevan a cabo por lotes a partir de cargas frías, la notable excepción que la constituye es el proceso continuo de producción de acero fundido. Entre el proceso por lotes y el continuo se encuentra el proceso semicontinuo, en el cual una porción de metal líquido se retiene en el horno para dar lugar un baño para la posterior absorción de carga de materiales sólidos. En algunos casos la práctica dúplex es utilizada involucrando hornos separados para etapas sucesivas; el uso de un horno sustituto para tener una reserva de metal fundido a la temperatura de colado, es el ejemplo más importante.

Los hornos de fundición deben ser diseñados para una transferencia de calor efectiva a la carga, la eficiencia térmica no es el principal criterio para determinar el equipo y la práctica. La economía de las operaciones de fundición depende de muchos factores, incluyendo la depreciación de capital y grado de utilización, los costos de operación por sí solos incluyen el mantenimiento y la mano de obra, así como electricidad y combustible.

Los factores metalúrgicos en la selección de las instalaciones de fundición están relacionados a la tendencia de la carga a reaccionar con sus alrededores, afectando el control de composición, nivel de impurezas y rendimiento metálico. Los efectos de composición deben de ser juzgados en relación a la calidad de los requerimientos de la fundición, resaltando la importancia económica de minimizar pérdidas por fundición que dependen del valor intrínseco del metal involucrado: las pérdidas son en general más críticas en el caso de las aleaciones no ferrosas de altos precios.

En resumen, la selección de un horno está determinada por el costo, calidad de metal, requerimientos de producción y tipos de aleación; la flexibilidad para un rango amplio de condiciones es de hecho una ventaja para muchos tipos de producción.

Los hornos han sido clasificados en dos grupos principales, basados en el tipo de suministro de calor: combustible o eléctricos. Las diferencias fundamentales en el flujo de calor se ilustran a continuación.

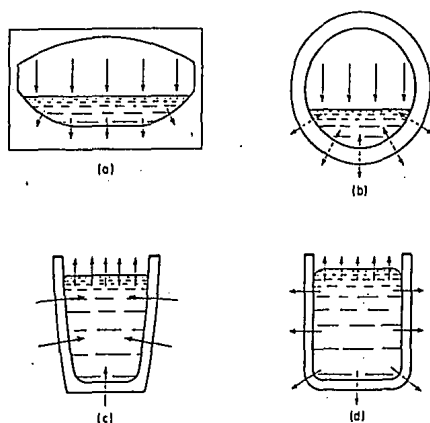


Fig. 3.2 Flujo de calor a la carga en hornos de fundición (esquemático : (a) reverbero, (b) rotatorio, (c) crisol, (d) inducción o inmersión en baño caliente.

La fuente principal de calor en los hornos de cubilote, utilizados para la fundición de hierro, es el carbón.

Existe una gran variedad de equipos para la fusión. La elección del procedimiento para una aplicación dada, depende de varios factores, entre los que se cuentan los siguientes:

- \* Volumen de metal necesario.
- \* Temperatura de fusión del metal.
- \* Precio del equipo.
- \* Costos de operación.
- \* Control necesario durante la operación.

#### Hornos de Crisol.

En la antigüedad, estos hornos también se llamaban de fosa, ya que los crisoles de grafito aglutinado con arcilla se llenaban con metal sólido y se colocaban en una fosa de paredes refractarias situada bajo el nivel del suelo. Los hornos de crisol situados sobre el nivel del suelo han sustituido en gran escala a los de fosa, fig. 3.3. En el horno y a través de una entrada tangencial, se sopla una mezcla de combustible y aire que gira alrededor del crisol colocado en el centro del horno. Cuando el metal está listo, se extrae el crisol y se efectúa la colada.

Para fundir latones y bronce se emplean mucho los hornos de crisol inclinables. Se giran para que el metal líquido sea recogido en "ollas".

#### Hornos eléctricos.

Estos pueden clasificarse como de arco directo, de arco indirecto, de inducción de alta frecuencia y de baja frecuencia y hornos de resistencia.

Los aspectos interesantes de un horno de arco directo se observan en la figura 3.4. Este tipo de horno se utiliza para fundir principalmente aceros especiales y ferroaleaciones.

La carga fría se coloca en el horno y se hace saltar el arco entre los electrodos y la superficie de la carga metálica. El arco se regula

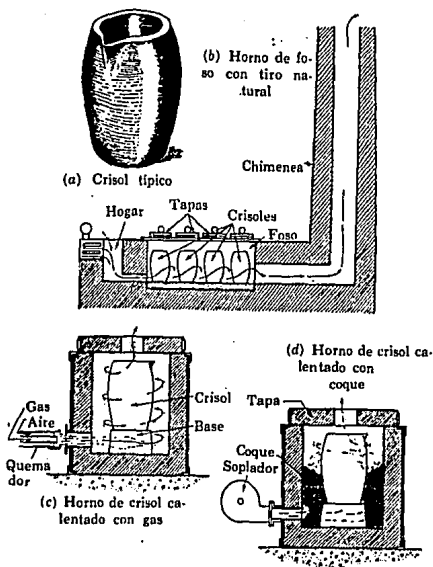


Fig. 3.3 Hornos de Crisol

automáticamente, elevando o descendiendo los electrodos para mantener constante el voltaje.

En los hornos de crisol y otras unidades de fusión se puede hacer poco para refinar el metal fundido. Sólo sirven para calentar y fundir una carga metálica previamente preparada, sin modificar la composición. En los hornos de arco directo es posible un proceso de afinación del metal.



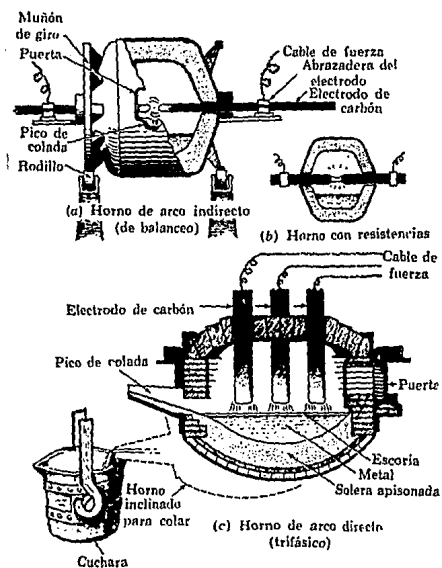


Fig. 3.4 Horno de Arco Eléctrico

### Hornos eléctricos de inducción.

Estos hornos son de dos tipos principalmente: de alta y baja frecuencia. Sus fundamentos son muy parecidos pero los detalles de diseño son muy diferentes.

El horno de inducción de alta frecuencia se compone de un crisol refractario envuelto por una bobina de cobre refrigerada con agua por la cual pasa una corriente eléctrica de alta frecuencia. La bobina actúa como el circuito primario de un transformador y la carga es el

secundario. El calor se desarrolla en el seno de la carga por efecto del campo electromagnético rápidamente variable, que produce además una agitación del metal líquido. Fig. 3.5.

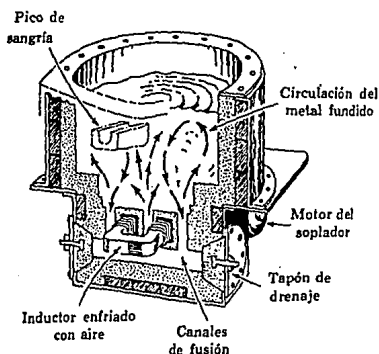


Fig.3.5 Sección transversal de un horno de inducción

Los hornos de alta frecuencia son muy adecuados para fundir pequeñas cantidades de aceros especiales o de alta aleación, siempre que no se necesiten volúmenes excesivos. Cuando las cantidades son grandes resultan más económicos otros tipos de hornos.

Los hornos de baja frecuencia funcionan como un transformador en corto circuito. La bobina primaria del transformador está enrollada en un núcleo de placas de acero, y el secundario es un canal lleno del

metal líquido del interior del horno. En el metal se induce una corriente de media intensidad y poco voltaje, con lo que el metal se calienta y funde.

Estos hornos se emplean generalmente para metales no ferrosos y normalmente sirven como hornos depósito para alimentar máquinas de moldeo por inyección o en moldes permanentes.

Existen otros tipos de hornos como son los de cubilote, para fundir hierro primario, los de reverbero para fundir acero y también algunas veces aleaciones de cobre, los convertidores que aunque no son propiamente un horno hacen las funciones de éste, etc.

### **3.2 Procesos de Fundición utilizados para la obtención de piezas metálicas**

Existe actualmente una gran variedad de procesos de fundición por medio de los cuales es posible obtener piezas a partir del metal líquido, como son:

- Colada en arena: en verde  
en seco.
- Proceso de arena CO<sub>2</sub>.
- Proceso de arena SO<sub>2</sub>.
- Proceso de arena con resinas, (shell moulding).
- Proceso a la cera perdida.
- Proceso de molde en yeso.
- Proceso de molde permanente (metálico), (gravity die casting).
- Proceso de inyección a alta presión: cámara fría  
cámara caliente.

- Proceso de inyección a baja presión; (low pressure die casting).
- Colada centrífuga.
- Solidificación bajo presión.

Dada la gran cantidad de procesos de fundición sólo nos referiremos a continuación a los más comunes.

### **3.2.1 Moldeo en Arena.**

La fundición en arena es popular porque es un método versátil, un proceso propicio a la producción en masa, para fabricar piezas de casi cualquier metal que pueda fundirse. La arena es un refractario relativamente barato disponible en cantidades ilimitadas, y extremadamente adaptable para los procesos de moldeo.

La arena sílice ( $\text{SiO}_2$ ) se usa en la fabricación de fundiciones más que ningún otro material de moldeo. Con la arena se mezcla un agente aglomerante apropiado, normalmente arcilla; la mezcla se humedece con agua para que desarrolle resistencia y plasticidad para hacer a los agregados apropiados para el moldeo; a esta mezcla se le llama arena verde, generalmente con un 3 a 8% de humedad. La mezcla de arena resultante se prepara fácilmente y se moldea alrededor de diversas formas para dar por resultado fundiciones satisfactorias casi de cualquier metal. Los moldes de arena verde se usan más que ningún otro tipo, ya que la solidificación es más homogénea, mejorando con esto la calidad del producto.

La arena debe de tener las siguientes propiedades:

(1) permeabilidad, la capacidad de una arena para dejar escapar los gases de la cavidad del molde;

(2) dureza, la resistencia de la superficie del molde a la deformación, medida con un penetrómetro de norma;

(3) humedad;

(4) resistencia al corte (cizalleo) y a la compresión, medidas por medio de aparatos de norma sobre especímenes estándar;

(5) resistencia en caliente, medida por compresión de una pieza normal de prueba en un horno capaz de alcanzar 1650°C;

(6) facilidad de fractura, indicada por la falla de la muestra a alta temperatura y bajo carga;

(7) expansión y contracción, comprobadas por medio de dispositivos especiales en el mismo horno de la fractura, y

(8) tamaño, forma y distribución del grano, determinados por los métodos usuales para clasificación de partículas.

El tamaño de grano es muy importante, para pequeños vaciados que no se maquinarán posteriormente, se requiere de una arena de grano fino y así poder obtener un acabado terso, pero en vaciados grandes se requiere de arena con grano mucho más grueso para permitir el escape de los gases que se puedan formar.

Una de las desventajas de este método es que proporciona hidrógeno a la fundición, por el ya mencionado uso de arena verde.

En general, los defectos del vaciado en arena se presentan por fallas técnicas como los pueden ser:

- ◊ Mala práctica de la fusión.
- ◊ Mala práctica en el vertido:
- ◊ Moldeo pobre (arena de composición incorrecta o en malas condiciones).
- ◊ Diseño incorrecto del molde.
- ◊ Composición incorrecta del metal.

Las ventajas de este tipo de moldeo es su bajo costo y su facilidad para efectuar el proceso.

### **3.2.2. Moldeo a la Cera Perdida.**

La fundición a la cera perdida o en moldes fusibles, llamada popularmente, fundición de precisión, goza de éxito comercial a causa de que las piezas se pueden hacer con una precisión dimensional que se acerca a 0.005 mm por milímetro, y las piezas pueden hacerse de aleaciones que pueden utilizarse sin maquinado o sin cualquier otra clase de trabajado para darles forma. El método es anterior a Miguel Ángel y a Cellini, quienes lo usaron en estatuaria y en trabajos artísticos. Ahora ha obtenido la aprobación de dentistas, joyeros y cirujanos ortopedistas.

En este proceso se usa un molde desechable de cera, plástico, estaño, o mercurio sólido.

Las principales características de la fundición por recubrimiento con pérdida del molde son:

- ◊ producción de piezas con una precisión dimensional extrema y detalles y acabado superficial excelentes;
- ◊ acomodo de aleaciones no mecanizables y no trabajables para usos tales como hojas de turbinas, partes de armas y máquinas, y partes para aplicaciones domésticas y otros artefactos;
- ◊ no existe la línea de partición desfigurante que se encuentra en fundiciones hechas por métodos de caja bipartida;
- ◊ costo elevado.

Los materiales de moldeo para fundiciones a la cera perdida, tradicionalmente son: la arena sílice fina y la harina sílice. Estas se usan frecuentemente como ingredientes básicos de las mezclas para fundiciones a la cera perdida. Otros refractarios, sin embargo se emplean a menudo a causa de su elevado punto de fusión o mejor estabilidad térmica; ellos son la alúmina, la magnesia y el circonio. El yeso puede ser usado para metales no ferrosos de bajo punto de fusión. Los aglomerantes para uso en fundición a la cera perdida incluyen el silicato de etilo, el fosfato de magnesio, el alcohol furfúrico y el yeso.

### **3.2.3. Molde Metálico Permanente.**

Cuando un metal fundido se cuele en moldes metálicos y se somete fuera, únicamente al efecto de la presión atmosférica, o bajo otra presión, se le conoce como fundición en molde permanente.

El molde se fabrica en dos o más partes para facilitar la extracción de la pieza vaciada cuando solidifica, manteniéndose unido durante el vaciado y solidificación. Las piezas obtenidas por este proceso, incluyen metales y aleaciones de: hierro, estaño, plomo, zinc, aluminio magnesio y cobre.

La mayoría de los moldes permanentes están hechos de una aleación de hierro, teniendo una buena resistencia al calor así como a los cambios repentinos de temperatura. Los moldes permanentes pueden ser usados aisladamente, o montados en mesas giratorias para producción en masa.

La secuencia de operación es ésta:

1. Limpieza de los moldes por medio de brocha o por soplado con aire, y mantenimiento de los mismos a la temperatura de colada apropiada por medio de una llama de gas; la temperatura correcta de operación solo puede determinarse por experiencia y varía con la pieza a fundir.
2. Pintado o rociado de la superficie del molde con una lechada refractaria delgada, o depositando carbón que proviene de una flama reductora de petróleo o gas.
3. Inserción de corazones, si se usan, y cierre del molde a mano o por acción automática.
4. Colado del metal por medio de una cuchara de mano o de una cuchara suspendida en una carretilla móvil.
5. Dejar suficiente tiempo para que la pieza fundida se solidifique.
6. Sacar la pieza fundida del molde, automáticamente o a mano.



Este tipo de vaciado produce una estructura superior a la de un vaciado en arena, debido a la velocidad de solidificación resulta un grano muy fino, los que a su vez conduce a una resistencia más alta y una mayor precisión en sus dimensiones, lo que da un menor costo en el maquinado.

Los moldes permanentes (metálicos), tienen un costo alto de fabricación, en comparación con algunos moldes pequeños de arena, entonces sólo se recomienda si se va a hacer un gran número de piezas, para poder así amortizar el costo del molde.

#### **3.2.4. Fundición por Inyección.**

En este tipo de moldeo al metal fundido se le obliga a penetrar en un molde metálico, aplicando una presión considerable. Este procedimiento consiste en empujar al metal fundido a través de una canaleta, para llenar el molde. El metal es oprimido para llenar todas las hendiduras del molde, se mantiene la presión mientras se enfría, contando con respiraderos para el escape de los gases; para asegurar su uniformidad muchos moldes son enfriados con agua para acelerar el enfriamiento. Una vez que el metal ha solidificado, se abre el molde y se extrae la pieza. La fundición por inyección se utiliza en la industria de alta producción, para así amortizar el costo de los dados o moldes permanentes y de la maquinaria.

Las aleaciones más comunes fundidas por éste método son: zinc, aluminio y magnesio; el cobre normalmente no es inyectado en estado

líquido ya que sus aleaciones, bronces o latones, debido a su alta temperatura de fusión y las condiciones de trabajo, dan origen a una corta vida de los moldes. Las piezas fundidas de aluminio a presión, ofrecen resistencia a la corrosión y operación dentro de una amplia escala de temperaturas, sin embargo las piezas obtenidas por este proceso presentan una considerable porosidad interna.

### **3.2.5. Inyección a Baja Presión.**

En este tipo de moldeo el metal fundido se hace ascender por medio de una presión generada por la aplicación de gas inerte o aire sobre el contenedor del metal pasando este a través de un tubo para llenar el molde, manteniendo la presión, y al eliminar ésta, el metal que sigue fundido en el tubo regresa al crisol, este proceso se emplea principalmente para vaciar aluminio en moldes de yeso, hierro colado, de acero y arena especial.

El moldeo a baja presión constituye una etapa entre la colada atmosférica y la fundición a alta presión, por tanto los costos del equipo, así como la tasa de producción, se encuentran en la escala intermedia. Por este método se obtienen secciones moderadamente delgadas y el acabado superficial y los detalles son más o menos precisos.

### **3.3. Tecnología de Fusión del Cobre y sus Aleaciones.**

El cobre para una larga producción de placa, barra o alambre es fundido en hornos de reverbero o más modernos (Asarco), tipo columna, calentados hoy día por gas el cual deberá estar libre de azufre y quemado generalmente para dar una atmósfera reductora. Las reacciones del gas con el cobre líquido son complejas debido a las relaciones entre el metal, óxidos cuprosos, oxígeno, hidrógeno y azufre. Para cobre de alta conductividad sólo los cátodos del metal virgen son fundidos con las debidas precauciones para evitar contaminación, particularmente por los elementos que causan serios efectos sobre las propiedades eléctricas. Los hornos modernos de columna son operados sobre una base continua para dar un flujo de cobre a los hornos de mantenimiento o directo a los moldes para barras de alambre o lingotes. Los hornos reverbero operan sobre un ciclo estacionario, con "sangrados" periódicos los cuales normalmente incluyen inclinación del horno. También son usados para fundir ciertas aleaciones cuando piezas grandes de fundición son requeridas, por ejemplo en los broncees al aluminio.

La fusión eléctrica es favorable en muchas aleaciones, con el objeto de reducir el riesgo de contaminación, como fue mencionado con anterioridad. Los hornos de arco son usados generalmente para aleaciones de alto punto de fusión, particularmente los cupro-níquel, debido a que la rápida fusión reduce el atrapamiento de hidrógeno.

Las plantas con hornos de arco indirecto y hornos de resistencias son recomendables para cupro-níquel, metal de cartuchería, níquel-plata y broncees al aluminio. Hornos de inducción de alta frecuencia son también

empleados para estas aleaciones mientras que los de baja frecuencia tipo Ajax-Wyatt han sido escogidos para latones y otras aleaciones por muchos años, pero no son siempre adecuados para bronce al aluminio porque la alúmina se puede acumular en el canal.

Hornos de crisol, calentados por gas o diesel, son ampliamente utilizados para latón y bronce, metal de armas y bronce al aluminio, particularmente en fundiciones para piezas en arena y molde metálico. El quemado de carbón mineral es raramente visto hoy día, debido a la dificultad de controlar la atmósfera del horno particularmente debido al azufre y vapor de agua, y la gran y habilidad requerida. La fusión de todos los materiales base cobre, deben ser tan rápida como sea posible para reducir el atrapamiento de gases y la oxidación. Normalmente el cobre es fundido primero y las adiciones son hechas directamente o por aleaciones máster, así como por adiciones de chatarra cuando sea posible.

### **3.3.1 Latones.**

Para aleaciones de alto cobre, normalmente es utilizado el metal virgen más chatarra de pureza conocida. Para los latones  $\alpha$   $\beta$  para extrusión, operaciones de estampado en caliente y maquinado, el uso de altas proporciones de chatarra es general, ya sea directamente o en lingotes de composición conocida.

Para las fundiciones en arena y molde metálico, ciertos límites de impurezas deben cumplirse de acuerdo a la norma, usualmente mediante el uso de aleaciones en lingotes en lugar de chatarra directa.

Un recubrimiento de carbón mineral es necesario para reducir la oxidación, particularmente de zinc, y un fundente a base de bórax es recomendable cuando la carga tiene un alto contenido de chatarra.

Los hornos de fusión de baja frecuencia, en base semi-continua son ampliamente usados para lingotes de latón que serán trabajados en frío y en caliente.

### **3.3.2. Bronces y Gunmetals.**

Estos son particularmente susceptibles a las reacciones con gases, con la solución durante la fusión, de hidrógeno, oxígeno, azufre y monóxido de carbono. Por lo tanto, el azufre debe estar ausente del combustible utilizado y el riesgo de reacción entre el metal líquido y el vapor de agua en el aire deberá de ser minimizado.

Los hornos eléctricos son por lo tanto adecuados y una fusión rápida es importante (por ejemplo 200 kg en menos de una hora). Una cubierta de carbón es normal, pero una leve atmósfera oxidante (5 a 6% de oxígeno) es necesaria para evitar el atrapamiento de hidrógeno o monóxido de carbono. El desgasado es llevado a cabo por medio de una escoria oxidante o por la inyección de nitrógeno o aire. Esto es seguido por una desoxidación con cobre fosforoso ( 5% de fósforo), pero un exceso de fósforo reduce las propiedades mecánicas, litio (como cobre-10% litio), puede ser usado. Los ensayos de control son normalmente realizados para control de metal para piezas de metal de armas y es necesario prestar particular atención para prevenir reacciones molde-metal cuando las piezas en arena están siendo producidas.

### **3.3.3. Bronces al Aluminio.**

Para este grupo de aleaciones se prefieren cátodos de cobre, pero metal duro también es utilizado y chatarra de composición conocida, es naturalmente adecuada. El aluminio es añadido directamente o como aleación muestra 50/50 y otros elementos de la aleación se disuelven mejor como aleación maestras, tales como 60% cobre, 30% manganeso.

La fusión debe realizarse tan rápido como sea posible bajo una capa seca de carbón mineral, y la desoxidación con manganeso puede ser requerida antes de añadir al aluminio el cual es un poderoso desoxidante pero puede resultar en inclusiones de oxido. El monóxido de carbono, dióxido de carbono y nitrógeno son insolubles, de aquí que el hidrógeno es el único gas que pudiera causar porosidad.

Para grandes fusiones en horno de reverbero una capa de fundente puede emplearse para minimizar la oxidación, pero esto puede atacar el recubrimiento refractario y el metal puede requerir una desgasificación con nitrógeno.

### **3.3.4. Cupro-níquel.**

La fusión eléctrica es preferida, pero los hornos de gas o diesel pueden ser también usados. Los dos metales son fundidos juntos tan rápido como sea posible para minimizar la absorción de hidrógeno, el óxido de níquel se agrega al fundido para remover cualquier traza de carbón. La desoxidación normalmente es en dos etapas, primero con manganeso y finalmente con magnesio o fósforo.

### **3.3.5 Plata-níquel**

Equipo de inducción de baja frecuencia u hornos de gas o diesel son utilizados para plata-níquel. Chatarra adecuada, cobre y níquel, son fundidos primero, y entonces el zinc es añadido. Un incremento en la temperatura por un corto periodo permite que el zinc hierva (se volatilice) lo cual remueve cualquier gas antes de la desoxidación con manganeso y fósforo.

## **3.4. Piezas de Fundición de Aleaciones de Cobre**

Las temperaturas de colada, que se muestran en la tabla 3.2 son una guía, pero en general se deberá usar las temperaturas al vaciado más bajas.

El tamaño pequeño de grano es deseable en todas las piezas de fundición, esto se promueve por las bajas temperaturas de colado, así

como de poca turbulencia durante el vaciado. El uso de elementos refinadores de grano no es práctica con las aleaciones de cobre, sin embargo pequeñas cantidades de nucleantes se le adicionan, tales como titanio, circonio en presencia de carbón, boro da lugar a núcleos de carburos o bromuros. Los tipos de fundiciones caen en dos grupos, las piezas fundidas a aproximadamente su forma final y los lingotes para trabajos posteriores.

#### **3.4.1. Fundido a la Forma Final.**

Estas no podemos cubrirlas en detalle, sin embargo una guía general para varios grupos se da en la tabla 3.2., y los procesos comúnmente utilizados, se describen a continuación:

FUNDICIÓN EN ARENA. Se utiliza para formas de cualquier complejidad desde 100g hasta muchas toneladas y en cantidades de una en adelante.

Hay mucha más variación en precisión de mediciones y calidad que con otros procesos, el terminado de la superficie es de los de más bajo estándar, sin embargo arenas de moldeo especial y procedimientos pueden dar un acabado superficial muy fino.

Los moldes son hechos a mano cuando se requieren pocos, pero el moldeo a maquina con modelos de metal aumenta la rapidez de producción y da mayor precisión.



Tabla 3.2 Temperaturas de trabajo por forja para cobre y sus aleaciones

B.S. Ref.	Material	Fundición (°C)	Trabajo en caliente	Templado	
				Ablandamiento (°C)	Tensión de relevación (°C)
<b>Cobre y bajas aleaciones de cobre:</b>					
C101, 102, 103					
C104					
C106	Hf-Cu	1120-1200	750-950	200-650	150-200
C107	Hf-Cu	1120-1200	750-950	225-650	175-225
C108	Cu-DHP	1140-1200	750-950	250-650	200-250
C109	Cu-As	1140-1200	750-900	375-650	225-250
C111	Cu-Cd	1130-1220	750-870	500-700	250-350
A2/1	Cu-Te	1120-1200	725-825	425-650	225-275
CB101	Cu-S	1140-1200	750-870	400-650	225-275
	Cu-Cr	1160-1250	750-900	700-850	--
	Cu-Be	1030-1100	625-800	600-750	--
<b>Latones:</b>					
CZ101	90/10	1120-1180	750-900	425-600	200-300
CZ105	70/30	1070-1110	750-870	450-680	250-350
CZ108	63/37	1040-1080	720-820	450-650	250-350
CZ109	60/40	1010-1050	650-750	450-650	250-350
CZ118	64/34/1	1000-1030	725-800	450-650	250-350
CZ121	57/40/3	1000-1050	625-725	450-600	250-350
CZ111	Admiralty	1030-1080	680-780	450-650	225-325
CZ112	Naval	1000-1050	650-750	450-600	
<b>Bronces fosforados:</b>					
PB102					
PB104	95/5	1110-1190	650-750	500-700	200-350
	92/8	1090-1150	--	500-725	200-350
<b>Bronces al aluminio:</b>					
CA101					
CA103	95/5	1120-1180	800-900	550-750	300-400
CA104	87/10/3	1140-1200	800-950	650-800	300-400
CA105	80/10/5/5	1140-1200	850-975	650-850	300-400
	Aleación E	1140-1200	850-975	650-850	300-400
<b>Cupro-niquels:</b>					
CN101	93/7/1	1200-1275	825-950	600-825	275-400
CN104	80/20	1250-1325	875-875	625-825	300-400
CN107	70/30/1	1325-1400	925-1025	650-850	300-400
<b>Níquel plata:</b>					
NS103	63/10/27	1120-1200	850-925	600-750	250-350
NS106	62/18/20	1175-1250	900-975	628-775	250-350
NS101	46/10/42/2	1025-1100	725-825	600-700	300-400
<b>Cupro-silicon:</b>					
CS101	96/3/1	1080-1150	700-875	475-700	250-380

Tabla No.3.3 Procesos más convenientes para fundición de aleaciones de cobre

Aleación (BS Ref.)	Grupo Preferente **	Proceso de fundición					
		Arena	Enfriamiento rápido	Por gravedad	Continuo	Centrífugo	Moldes de coraza
<b>Latones:</b>							
SCB1	A	1	N	N	2	2	2
SCB3	A	1	N	N	2	3	2
SCB4	C	1	N	N	N	3	2
SCB6	A	1	N	N	2	3	2
DCB1	A	N	N	1	N	2	N
DCB3	A	N	N	1	3	2	N
PCB1	A	N	N	1	N	2	N
HTB1	B	2	N	2	N	2	2
HTB3	B	2	N	N	N	2	3
<b>Bronces al estaño:</b>							
PB1	B	2	1	3	1	1	2
PB2	B	2	1	3	1	1	2
PB4	A	2	1	3	1	1	2
LPB1	A	2	1	3	1	2	2
LB1	C	3	2	N	1	2	3
LB2	A	2	1	N	1	2	2
LB4	A	2	1	N	1	2	2
LB5	B	3	2	N	3	3	N
CT1	B	2	1	3	1	1	2
<b>Gunmetals:</b>							
G1	C	2	3	3	1	2	2
G3	C	2	3	3	2	2	2
LQ1	B	1	2	3	2	2	2
LQ2	A	1	2	3	1	1	1
LQ4	A	1	2	3	1	1	1
<b>Bronces al aluminio:</b>							
AB1	B	2	N	1	3	2	2
AB2	B	2	2	2	3	2	2
CMA1	B	2	2	2	3	2	2
CMA2	B	2	N	2	3	2	2
<b>H.C. Cobres:</b>							
HCC1	C	2	N	3	3	2	1
CC1	C	2	N	3	3	2	3

Claves: 1= Excelente  
 2= Satisfactorio  
 3= Posibles por técnicas especiales  
 4= No aplicable

- \* A = Aleaciones en uso común y preferentes para propósitos generales  
 B = Aleaciones para propósitos especiales, cuando se necesitan propiedades particulares  
 C = Aleaciones en producción limitada.

La "arena verde" ha sido utilizada para moldeo en máquina con arena seca para trabajo manual, pero el proceso de CO<sub>2</sub> ha ganado aceptación general. El tiempo de producción es fuertemente reducido y se obtiene mejor acabado superficial. El proceso de cascara (shell moulding) ha sido ampliamente aplicado en aleaciones de cobre para producir piezas de alta precisión y definición de las propiedades del mismo orden del moldeo en arena.

#### FUNDICIONES CON ENFRIAMIENTO RÁPIDO

Es aplicado principalmente a los bronce al estaño para los cuales es benéfico el aumentar la proporción de constituyentes en la aleación para dar mayor dureza y resistencia, (en comparación con moldeo en arena), pero con una pequeña reducción en ductilidad. Una distribución más fina de plomo es obtenida en las aleaciones que lo contienen.

El enfriamiento rápido es posible para piezas individuales, para las que el molde de metal puede estar disponible, pero es usado principalmente para el caso de secciones y barras. El rango de tamaño es amplio, desde 100 g hasta 500kg. No es recomendable para bronce al aluminio y es de aplicación limitada a latones.

#### FUNDICIONES POR DADO (MOLDE METÁLICO)

Se utiliza en algunas aleaciones de cobre, particularmente en algunos latones y bronce al aluminio para dar una mayor precisión, excelentes acabados superficiales y propiedades mecánicas superiores.

Las fundiciones coladas por gravedad en moldes metálicos han venido obteniéndose por muchos años, pero el proceso de presión aplicado en cámara fría o caliente ha ido aumentando cuando las cantidades son suficientemente altas para justificar el costo de los dados. Importantes ahorros en peso para los servicios requeridos y fuertes reducciones en la maquinado pueden compensar los costos de los dados los cuales son fabricados de aceros especiales debido a las comparativamente altas temperaturas de fundido. Se recomienda el análisis con el personal de fundición a la etapa de diseño con el objeto de mantener en un mínimo tanto los costos de producción como de dados. Del mismo modo se deberán hacer consultas sobre el uso posible del proceso de precisión a la cera perdida o métodos de molde de yeso.

#### **Latones.**

Para propósitos generales las fundiciones en arena están hechas en aleaciones SCB1, 2 ó 3 cuando las condiciones de servicio no son severas tales como artículos de plomería, artículos decorativos y de ferretería, contactos y componentes eléctricos. Las adiciones de estaño a la aleación SCB4 la hace adecuada para condiciones marinas. La aleación SCB6 es utilizada cuando partes tienen que ser soldadas, especialmente si deben resistir cierta cantidad de trabajo en frío y no es atacada por el medio ambiente. Para grandes cantidades, la fundición en moldes metálicos en DCB1 ó 3 son viables y pueden ser fácilmente acabadas por platinado. El plomo en la DCB3 hace a la aleación fácilmente maquinable. La temperatura de colada de 900°C impone un alto desgaste del molde, el cual es acentuado por ataque del óxido de zinc.

Los latones de alta resistencia a la tensión HTB1 y 2 no son recomendados para enfriamiento rápido, pero son ampliamente usados en colada en arena pesando hasta varias toneladas. Estos requieren manejo de expertos en las plantas para fundición para asegurar óptimos resultados.

#### **Bronces al Estaño y Gunmetals.**

Los bronce fosforosos son especialmente diseñados para enfriamiento incluyendo procesos de colada continua y centrífuga, pero no son recomendados para colada en molde metálico. Los bronce para propósitos generales son las aleaciones PB4, LB2 y LB4 y el correspondiente gunmetal LG2, especialmente usados para piezas sujetas a presión y LG4 para piezas de bajos esfuerzos tales como bujes, bombas, válvulas y accesorios. Estas aleaciones son utilizadas en moldes de arena y cáscara pero requieren de una atención especial para colado en molde metálico.

Los bronce al estaño son generalmente, los materiales tradicionales para campanas (20 a 40% de estaño) y para esculturas (alrededor del 10% de estaño y pequeñas cantidades de zinc), la demanda depende en alto grado de las habilidades personales.

#### **Bronces al aluminio.**

Estas aleaciones son ampliamente utilizadas para colada de piezas en arena y colada por gravedad pero no son adecuadas para fundiciones a presión debido al alto desgaste del dado. El proceso "Durville" puede ser

utilizado para colado en arena si es necesario asegurar piezas libres de inclusiones por óxido.

Las aleaciones de CMA son generalmente coladas en arena para dar piezas sanas complejas de varias toneladas de peso, pero éstas también pueden ser coladas en arena para pequeños artículos. La aleación AB1 es preferida para colada en dado (molde metálico) , con la cual pueden ser obtenidas piezas en pesos menores a 50 g hasta 20 kg, con espesores de 2 a 20 mm. El alto contenido de la aleación AB2 la hace menos fluida y aumenta la dificultad de piezas rentables económicamente por el proceso de dado. A pesar de que las temperaturas de colada exceden los 1000°C la vida del dado es al menos tan larga para los latones considerando que un acero adecuado o una aleación de alto níquel es usado.

#### **4. ALEACIONES DE COBRE UTILIZADAS EN INGENIERÍA.**

Una gran variedad de engranes, cuerpos de bombas, componentes de compresoras, bujes y cojinetes y similares son fabricados en latón, bronce, metal de armas o bronce al aluminio. Válvulas de vapor, uniones y otras piezas sometidas a presión pueden ser fabricadas de gunmetals, latones o bronce al aluminio, mientras que resortes para una amplia variedad de propósitos, son hechas a partir de alambre o varilla que va desde cobre hasta el latón, bronce fosforoso, plata-níquel y cuproníquel hasta cobres al berilio.

Muchos artículos para uso a temperaturas moderadas tales como dados para moldeo de componentes plásticos o moldes para vidrio utilizan bronce al aluminio o cobres al berilio, mientras para aplicaciones criogénicas que involucran gases licuados y refrigerantes, son ampliamente utilizados el cobre, bronce al aluminio y latones.

Para aleaciones resistentes y de alta conductividad como electrodos de soldadura, y los sostenedores de electrodos de soldadura con arco, los materiales estándar son el cobre al berilio y cobre cromo. En la producción de hierro y acero, se utiliza cobre como sostenedor de electrodos en hornos de arco, toberas enfriadas con agua y cabezas de lanzas de oxígeno. De hecho el desarrollo en la producción de hierro y acero ha tenido un significativo aumento en la aplicación de cobre y sus aleaciones. Las tuberías y accesorios para transportar oxígeno de las plantas de producción a los convertidores son de acero recubiertos con cobre con accesorios de bronce o metal de armas. La colada continua y semicontinua de los lingotes de acero se basa en moldes de cobre

enfriados por agua. La fusión por arco de vacío de acero y otros metales reactivos o de alto punto de fusión es llevada a cabo en crisoles de cobre enfriados por agua arriba de 1500 mm de diámetro y 50 ton. de peso.

La fusión por electroescoria y el proceso de refinación también emplean recipientes de cobre de varios tamaños. Estos son comúnmente fabricados a partir de forjas para asegurar que estén libres de defectos pero los cilindros electroformados con asas soldadas también están en servicio. Otras plantas acereras incluyen carretes con accesorios de bronce el aluminio de alta resistencia y ganchos para levantamiento de tanques, de bronce al aluminio. El bronce fosforado y el cobre son altamente utilizados en fuelles y diafragmas para líneas de gas y aire así como en instrumentos.

Una gran cantidad de cobre desoxidado y menos frecuentemente aleaciones de cobre al silicio, es usado para recipientes a presión en pequeñas plantas de proceso de alimentos.

Herramientas que no deben hacer chispa así como componentes de alta resistencia no magnéticos y cadenas, son fabricados de los mismos materiales. utilizan materiales como bronce al aluminio o cobre al berilio.

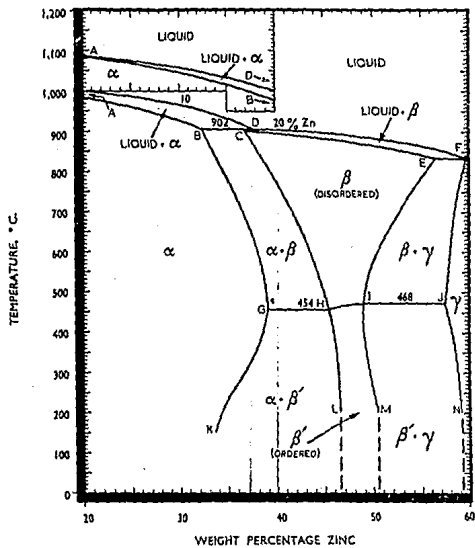
Una gran cantidad de accesorios como clavos, tornillos y cerrojos, accesorios de baño, pernos y agujas utilizados para el techado y la construcción, pueden ser hechos de cobre, bronce o latones, y algunas veces en aleaciones de cobre al silicio. Algunos instrumentos pequeños de alta precisión, como relojes, tienen engranes y piñones de latón.



En la industria del papel, el cobre es ampliamente utilizado para el manejo de grandes cantidades de agua, con los bronce al aluminio para componentes como agitadores; alambres de latón y bronce para el proceso de secado.

La industria de la imprenta utiliza cobre para las placas y cilindros de fotograbado, y los latones para las matrices de las impresoras.

Los intercambiadores de calor forman un gran mercado para el cobre, desde el radiador de los automóviles hasta las más grandes instalaciones de plantas desalinizadoras, condensadores marinos, equipo criogénico, refrigeradores y evaporadores. El creciente interés en fuentes de energía alternativas y ahorro de energía ha abierto nuevas aplicaciones para las aleaciones de cobre, particularmente para unidades de energía solar y equipo de aire acondicionado diseñados para hacer uso de la energía total contenida en edificios y vehículos.



Point	A	B	C	D	E	F	G
*C.	1083	902	902	901	834	834	454
Zn, %	0	22.5	36.8	37.6	56.5	60.0	39.0
Point	H	I	J	K	L	M	N
*C.	454	468	468	150	200	200	200
Zn, %	45.5	48.9	57.5	33.6	46.6	50.6	59.1

Fig. 4.1 Diagrama de Equilibrio Cobre - Zinc

## **5. SOLIDIFICACIÓN DE PIEZAS DE FUNDICIÓN.**

La solidificación es un proceso de transformación del estado líquido al sólido, el cual se inicia por un agrupamiento de átomos en una forma ordenada dentro de un líquido y que se forma a expensas de ese mismo líquido, involucrando consecuentemente un cambio de estructura. Este proceso ocurre por la nucleación y crecimiento de una fase nueva, es decir, la estructura cambia repentinamente frente a la interfase sólido-líquido que se forma.

En el caso de aleaciones, además de haber un cambio de estructura en la solidificación, hay un cambio en la composición del sólido cristalizado con respecto a la del líquido.

La solidificación es posiblemente la transformación más importante en la metalurgia, dado que casi todos los metales comerciales se producen en estado líquido por recuperación o refinación, siendo solidificados para su uso posterior, esto es debido a que la mezcla de sólidos ocurre solo por difusión, y ésta es tan lenta que se considera generalmente despreciable, mientras que en estado líquido la mezcla ocurre por difusión y convección, con lo cual se puede obtener rápidamente un material muy homogéneo y solidificarlo para su uso posterior.

La solidificación es un cambio de fase que se lleva a cabo a través de la nucleación y el crecimiento del metal o aleación solidificando.

La nucleación puede ser homogénea, cuando la nueva fase se forma únicamente a través de la mezcla de fase madre, es decir, se forma en cualquier sitio del seno del líquido sin puntos preferenciales, y se le llama nucleación heterogénea cuando la nueva fase, se forma preferencialmente en inhomogeneidades en la fase madre, debido a la disminución de la energía libre necesaria para que el proceso ocurra, y es precisamente este tipo de nucleación la que ocurre en la mayoría de los procesos industriales.

### **5.1. Estructura de Grano.**

Cuando un metal fundido se cuela en un molde frío, el metal adyacente a la pared del molde, es enfriado rápidamente y muchos granos nuclean, los cuales crecen dendriticamente desde el líquido enfriado. Los primeros granos crecen desde un líquido enfriado cercano a la pared del molde, originando que el contenido de soluto pueda llegar a acumularse rápidamente en la rama principal de la dendrita. Al calentarse la pared del molde, aumenta la temperatura del sólido que crece, mientras que la rapidez de crecimiento disminuye. De esta manera, hay una disminución en la concentración de soluto al ir de la rama principal de la dendrita a los brazos que crecen a una mayor temperatura. Este calentamiento, continuado por el líquido caliente pone a la dendrita a una temperatura superior a la del sólido, para la composición de la parte exterior de las primeras dendritas formadas, aunque por debajo del líquido de ésta composición. El calor de cristalización eliminado, más el calor que fluye del líquido caliente, eliminan el enfriamiento inicial del líquido cercano al molde y la rapidez de solidificación disminuye. Como el líquido en el centro del molde se encuentra con una temperatura superior a la del líquido, no pueden

desarrollarse granos ahí, de manera que, únicamente los granos de la pared del molde continúan creciendo hacia el líquido. Los granos que han nucleado en la zona llamada "zona enfriada", contigua al molde, tienen un tamaño pequeño.

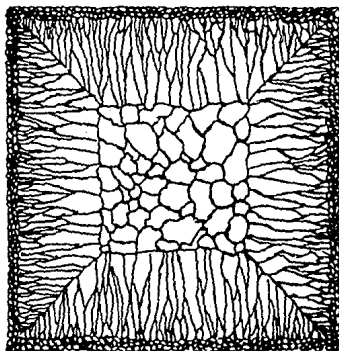


Figura 5.1. Dibujo de una estructura de lingote que muestra la zona fría, la zona columnar y la zona equiaxial.

### **5.2 Estructura Columnar.**

De los granos formados en la zona contigua al molde, aquellos con su dirección de crecimiento dendrítico normal a la pared del molde crecerán más rápidamente, desarrollándose así una estructura columnar que posee una estructura cuyo tamaño de grano aumenta con la distancia desde la pared, creciendo estas dendritas bien orientadas tan rápido como el calor de cristalización pueda fluir lejos de la pared del molde.

Existe una tercera zona en el centro del molde, que solidifica y que consta de granos casi esféricos llamados *equiaxiales*, los cuales pueden crecer sólo cuando el líquido en el centro del molde se ha enfriado por debajo de su temperatura de líquido. Los puntos de nucleación para este tipo de granos son proporcionalmente normales a los brazos de dendritas, arrancado por fusión de las dendritas iniciales y que son empujados al centro del molde.

### **5.3 Microsegregación.**

Uno de los principales objetivos de la fundición es proporcionar una aleación sólida homogénea, siendo indeseables cualquier tipo de porosidad o segregación. En el área de la segregación en metales y aleaciones fundidas se puede afirmar que esta resulta de la solidificación y se puede clasificar en microsegregación y macrosegregación.

La microsegregación se conoce como la diferencia en composición entre el centro de una dendrita y la región rica en soluto entre los brazos de la dendrita. La distancia entre regiones ricas en soluto es la distancia entre los brazos de la dendrita y es del orden de  $10^{-3}$  cm a  $10^{-2}$  cm. Si el contenido de soluto de la aleación es lo bastante alto como para colocarla en el campo bifásico de un sistema eutéctico, la fase primaria se desarrollará como dendritas y el espacio interdendrítico solidificará como un eutéctico. En este caso una disminución de alta temperatura eliminará la microsegregación de las dendritas primarias pero no cambiará la distribución heterogénea de la segunda fase.

#### **5.4 Espaciado de Rama Dendrítica**

La morfología de las dendritas en fundición usual y en proceso de fabricación de lingotes, permanece casi sin cambios, sobre los rangos pequeños de rapidez de enfriamiento. De este modo la estructura de la figura 5.1 cerca de la zona fría no es muy diferente de la que está más lejana, excepto por la escala. Una excepción a esta regla es que a altas velocidades de enfriamiento, cuando el espaciado de la rama primaria se vuelve pequeña, las ramas secundarias y terciarias pueden estar ausentes.

Una medida conveniente y ampliamente usada de los efectos de las condiciones de solidificación en la estructura de la dendrita, es el "espaciamiento de la rama dendrítica", por ejemplo, el espaciamiento entre la rama primaria, secundaria u otras ramas de más alto orden. Generalmente, los espaciamientos medidos son las distancias perpendiculares entre las ramas. Así mismo, especialmente en estructuras pobremente definidas, el método de intersección al azar ha sido empleado. este último método da resultados algo más altos que el otro (el de distancias perpendiculares).

Estudios en aleaciones transparentes, muestran que las dendritas columnares pueden ajustar su espaciamiento primario durante su crecimiento sin dificultad alguna. Si el espacio está muy cerrado, una u otra rama primaria se queda atrás (se atrasa) y subsecuentemente se inunda; si el espaciamiento es muy largo, una tercera rama, que crece de una secundaria alcanza o se le une a una de las puntas primarias crecientes y forma parte de ella, como se muestra en la figura 5.2.

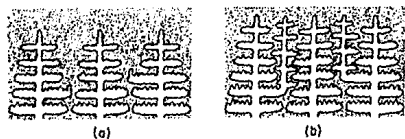


Figura 5.2. Formación de nuevas ramas primarias por ramificaciones de ramas secundarias.

La rapidez de crecimiento de las dendritas depende del gradiente de temperatura.

Los espaciamientos de las ramas secundarias de las dendritas dependen directamente de la rapidez de enfriamiento.



## **6. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES.**

Es importante, antes de describir las pruebas mecánicas utilizadas, mencionar las siguientes propiedades:

*Ductilidad*: Capacidad que tiene un material para sufrir deformación plástica sin fractura, cuando está sujeta a una tensión (por ejemplo, estirar un alambre o tubo).

*Maleabilidad*: Capacidad que presenta un material para soportar deformación sin rotura, cuando está sujeta a compresión (por ejemplo, forjado o laminado).

*Tenacidad*: Capacidad que presenta un material para resistir dobléz o aplicación de esfuerzos cortantes sin fractura.

Debido a que estas tres pruebas no pueden ser expresados en términos numéricos, de una manera sencilla ha sido necesario introducir ciertas pruebas mecánicas, basadas en las propiedades antes mencionadas, haciendo posible una interpretación numérica comparativa. Estas pruebas son más conocidas como ensayos de tracción, de dureza y de impacto.

### **6.1. Ensayos de Tracción**

La capacidad de un material para soportar una carga estática puede determinarse por este tipo de pruebas.

porción elástica del alargamiento total que se recupera, pero, durante la deformación plástica, se conserva un alargamiento neto). A medida que la muestra continúa alargándose, el esfuerzo ingenieril aumenta y se dice que el material ha sufrido un endurecimiento por trabajo o deformación.

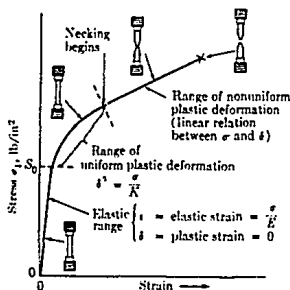


Fig. 6.1 Curva de Tensión vs deformación

### 6.1.1. Resistencia Máxima a la Tensión.

El esfuerzo alcanza su máximo en el valor de *resistencia máxima a la tensión*. En este valor de esfuerzo se forma en la probeta una constricción o "cuello", la cual es una reducción localizada en el área de

la sección transversal, en la que se concentra todo el alargamiento posterior. Una vez formada esta constricción, el esfuerzo ingenieril disminuye al aumentar la deformación y continúa disminuyendo hasta que la muestra se rompe. En aquellos materiales que se rompen sin formar una constricción, el valor de esfuerzo de fractura es igual. Sin embargo, cuando hay formación de "cuello", la carga de fractura es menor que la carga para resistencia máxima a la tensión.

En la figura No. 6.2 se muestran las curvas de esfuerzo contra deformación ingenieril para varios materiales. Para metales y materiales cerámicos, la relación entre esfuerzo y deformación en la región elástica es lineal y la ecuación que la recibe el nombre de ley de Hooke:

$$\sigma = E \epsilon$$

en donde E es una constante llamada módulo de Young. En metales y materiales cerámicos la máxima deformación elástica que se puede obtener es menor a 0.5%. El valor de esfuerzo en el cual la deformación ya no es elástica sino plástica, es aquél en el cual la pendiente de la curva de esfuerzo contra deformación ingenieril se desvía del módulo elástico (ver la figura 1(1.2)). Debido a las dificultades que existen para determinar este valor con exactitud, se usan con frecuencia varias aproximaciones. La más común de éstas es el **esfuerzo de cedencia**, definido por el valor del esfuerzo que produce una deformación plástica de 0.2%.

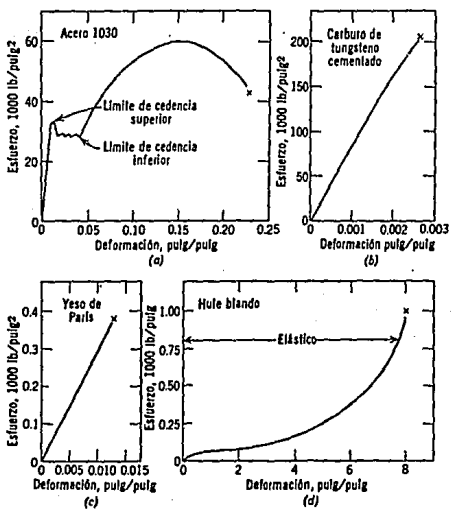


Figura No. 6.2 Curvas ingenieriles de esfuerzo y deformación para varios materiales: (a) acero 1030; (b) Carburo de tungsteno cementado; (c) yeso de Paris; (d) hule blando.

### 6.1.3. Elongación.

En aceros de bajo carbono y otras aleaciones, la deformación plástica principia en el punto mínimo de cedencia (ver figura 6.2 a (1.3a). Este comportamiento se debe a la deformación no homogénea que principia en una área de concentración de esfuerzos y se propaga a través de la muestra en forma de bandas visibles a simple vista (bandas de Lüder).

Elongación es el incremento en la longitud de la probeta, la cual es medida antes del ensayo, y se expresa en porcentaje de la distancia inicial.

$$E = \frac{L_f - L_o}{L_o} * 100 (\%) \quad L_o : \text{longitud inicial}$$

$L_f$  : longitud final

### 6.1.4. Reducción en Área.

Durante la deformación elástica hay un ligero cambio en el volumen del metal. Sin embargo, durante la deformación plástica no hay cambio en el volumen de la muestra, siempre y cuando éste se mida sin aplicar la carga. Esto se puede representar matemáticamente:

$$A_o l_o = A_i l_i$$

Por tanto cuando un material se alarga, su sección transversal tiene, por fuerza, que disminuir. Durante la deformación elástica, este cambio

es despreciable, mientras que en el transcurso de la deformación plástica la reducción en área transversal puede ser considerable.

En resumen la reducción en área es la diferencia entre la sección transversal inicial de una probeta para ensayo de tensión y el área de la sección transversal mínima después de la prueba. La reducción en área se expresa en porcentaje:

$$RA = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 (\%)$$

A<sub>o</sub> : área original.  
A<sub>f</sub> : área final.

Los resultados de la prueba de tensión son de gran utilidad para el diseñador. En la mayoría de las estructuras sólo debe existir deformación elástica; entonces, conocer el límite de fluencia determina la carga máxima aplicable con seguridad (ésta se reduce aún más con el factor de seguridad). En la prueba de tensión, el área bajo la curva de esfuerzo y deformación muestra la energía que se absorbe antes de la fractura e indica la *tenacidad* del material.

## **6.2. Ensayos de Dureza.**

Estos ensayos miden la resistencia de un material a la penetración de un punzón o una cucharilla. El penetrador es generalmente una esfera o pirámide o cono, hecho de un material mucho más duro que el que se ensaya, como por ejemplo, acero endurecido, carburo de tungsteno

sinterizado, o diamante. En la mayoría de las pruebas patrón la carga se aplica al oprimir lentamente el penetrador perpendicularmente a la superficie ensayada por un periodo determinado, de los resultados se puede calcular un valor empírico de dureza, conociendo la carga aplicada y el área de la sección transversal o la profundidad de la impresión.

La mayoría de las pruebas de dureza producen deformación plástica en el material, y todas las variables que influyen en la deformación plástica la afectan. La prueba de dureza puede hacerse muy fácilmente y la información obtenida se evalúa inmediatamente. Por estas razones y por su carácter no destructivo, se emplea frecuentemente para control de calidad en producción.

### **6.2.1. Dureza Brinell**

La forma del indentador es una esfera, la carga se aplica durante 30 segundos, retirando el indentador posteriormente, el diámetro de la impresión se lee en milímetros, para calcular la dureza por medio de la siguiente fórmula:

$$HB = L / (\pi D/s) (D- RQ(D^2 - d^2))$$

L: Carga en kg (P).

D: Diámetro del indentador en milímetros.

d: Diámetro de la huella en milímetros

Estos datos también se pueden obtener de tablas.

Para este tipo de ensayos se toma en cuenta la relación  $P/D^2$ , con objeto de tener resultados precisos y comparables, también hay que tomar en cuenta el espesor de la muestra que deberá ser siete veces la profundidad de la huella para aleaciones duras y quince veces para aleaciones blandas.

### **6.2.2. Dureza Vickers (VHN)**

Se usa un indentador piramidal de base cuadrada de diamante, con esto eliminamos la necesidad de tomar en cuenta la relación  $P/D^2$ , pero con respecto al espesor hay que asegurarse de que sea lo suficientemente grueso para soportar la presión y la profundidad de la impresión.

Para determinar la dureza Vickers, se mide la diagonal de la huella y con esta dimensión se va directamente a tablas. Con este tipos de ensayos tenemos las siguientes ventajas en comparación con la dureza Brinell: las cargas son menores, tiene gran capacidad para durezas muy elevadas, así como la medición en zonas pequeñas.

### **6.2.3. Dureza Rockwell ( $R_A, R_B, \dots, R_E$ ).**

La principal y gran ventaja de este tipo de ensayos, es que la dureza se lee directamente en una escala (análoga o digital) y el ensayo es en sí más rápido que los anteriores.



La dureza tipo Rockwell, cuenta con tres indentadores diferentes. Para las escalas A, C y D, se utiliza un cono de diamante y cargas de 60, 150 y 100 kg, respectivamente. Para las escalas B, F y G, se utiliza una bola de acero de  $1/16''$  de diámetro y cargas de 100, 60 y 150 kg, respectivamente, y para la escala E, una bola de acero de  $1/8''$  de diámetro, con carga de 100 kg.

## **7.- TRABAJO EXPERIMENTAL.**

En esta sección se hace una descripción de la metodología empleada para la realización de este estudio. Se expone el criterio seguido para la selección de la aleación utilizada, los métodos y técnicas empleadas en la fusión y moldeo, así como una descripción de las pruebas realizadas a cada una de las probetas obtenidas.

### **7.1 Selección de la Aleación Utilizada.**

La selección de la aleación usada consistió en 12 kg. aproximadamente de trozos de latón naval. Se hizo el análisis químico para verificar que la composición estuviera dentro de especificaciones, este análisis consistió en la determinación de los componentes químicos del latón naval y su porcentaje, el cual fue realizado por espectrofotometría de absorción atómica, siendo el resultado el siguiente:

Zn - 37.8 %

Sn - 0.94 %

Pb - 0.48 %

Fe - 0.038 %

Mn - 0.004 %

Cu - 60.74 %

## **7.2 Preparación del Molde Utilizado.**

El molde que se utilizó para obtener las probetas, fue un molde de acero para trabajo en caliente, la cavidad del molde fue maquinada por electroerosión, previo tratamiento térmico de temple y revenido. Dicho molde fue montado en una prensa hidráulica con una capacidad de 50 ton.

## **7.3 Fusión.**

Se fundieron aproximadamente 12 kg de latón Naval, en un horno calentado por diesel tipo crisol y se llevó el metal líquido a una temperatura aproximada de 910 - 950°C. De ahí se tomó la cantidad necesaria de aleación líquida para colarla al molde metálico instalado en la prensa hidráulica. Fig. 7.1

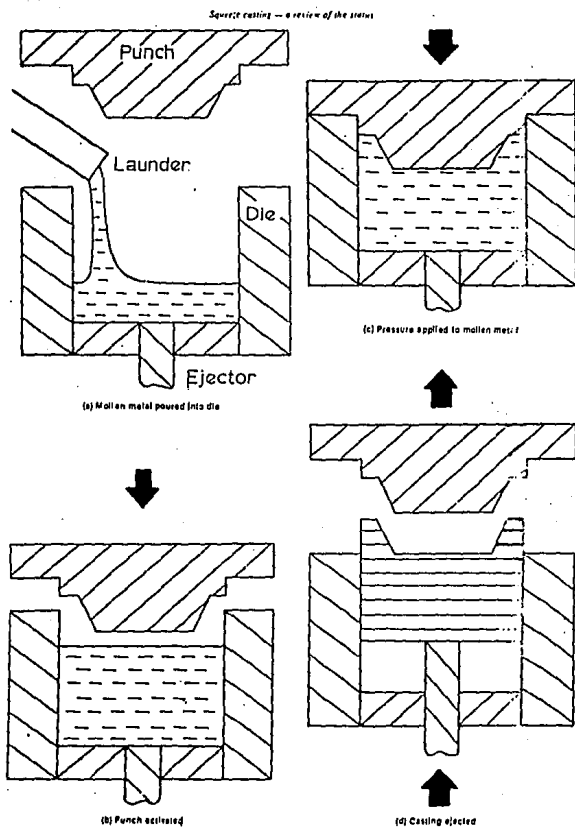
## **7.4 Obtención de las Piezas Bajo Estudio.**

Ya instalado el molde en la prensa, este fue precalentado a una temperatura aproximada de 300°C, pintado en su parte interna con grafito en suspensión en agua, se colocó un canal de alimentación al molde, figura 7.3, (el cual también se pintó) por donde fue vaciado el metal líquido a una temperatura que varió entre 900 - 925 °C, inmediatamente después se aplicó la presión por un tiempo de aproximadamente 15 segundos. De esta manera fueron obtenidas 22 piezas para su estudio, figuras 7.4 a 7.10.

En la figura 7.2 se puede ver gráficamente los pasos seguidos para la obtención de las probetas por solidificación bajo presión (squeeze casting).



Fig. 7.1 Figura que muestra el precalentamiento del molde y su punzón



**Fig. 7.2 Pasos para producir solidificación bajo presión. (a) El metal fundido es vaciado dentro del molde. (b) La prensa es activada. (c) La presión se aplica en el metal fundido. (d) La pieza solidificada es expulsada.**

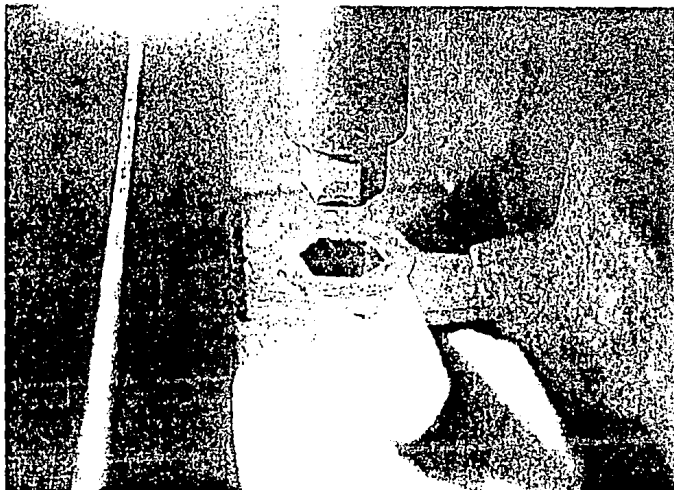


Fig. 7.3 Molde metálico colocado en la prensa y precalentado para vaciar al metal.



Fig. 7.4 Muestras de piezas obtenidas sin aplicar presión al metal líquido.

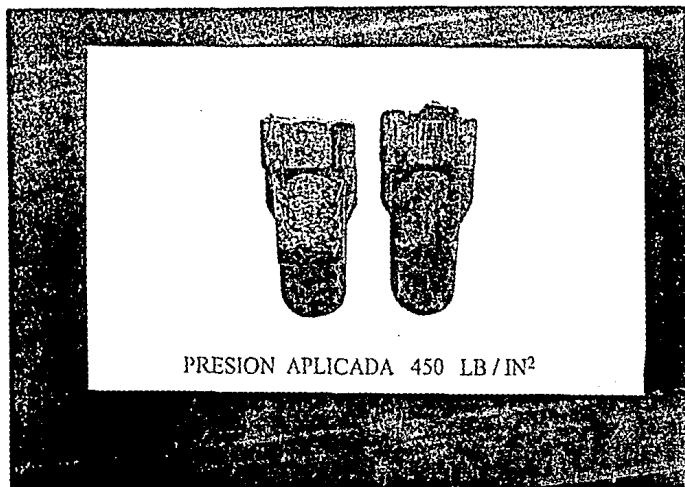


Fig. 7.5 Muestras de piezas de latón obtenidas con una aplicación de presión de  $0.310 \text{ kN/cm}^2$  ( $450 \text{ lb/in}^2$ ) (lectura en el monómetro del sistema hidráulico).

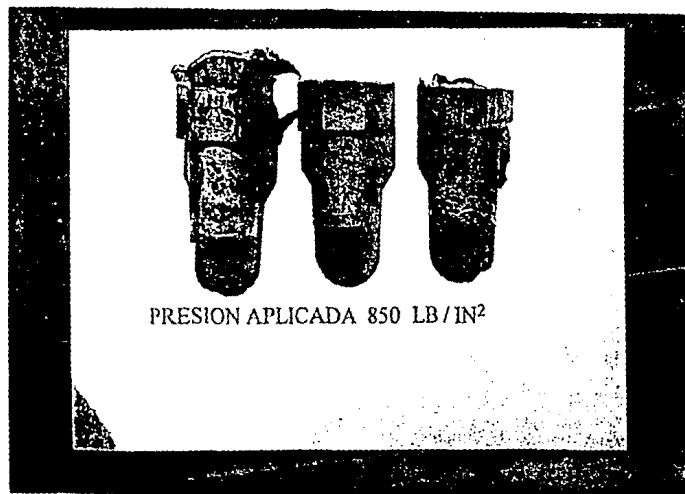


Fig. 7.6 Piezas obtenidas a  $0.586 \text{ kN/cm}^2$  ( $850 \text{ lb/in}^2$ ).

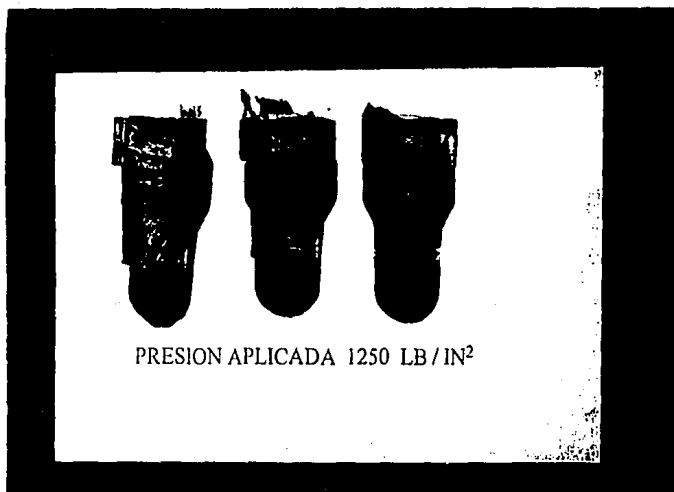


Fig. 7.7 Piezas obtenidas con aplicación de presión de  $0.862 \text{ kN/cm}^2$  ( $1250 \text{ lb/in}^2$ )

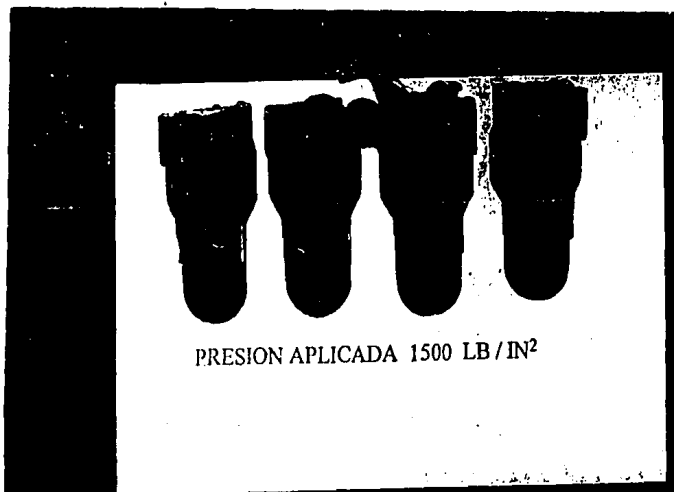


Fig. 7.8 Piezas obtenidas con aplicación de presión de  $1.034 \text{ kN/cm}^2$  ( $1500 \text{ lb/in}^2$ )



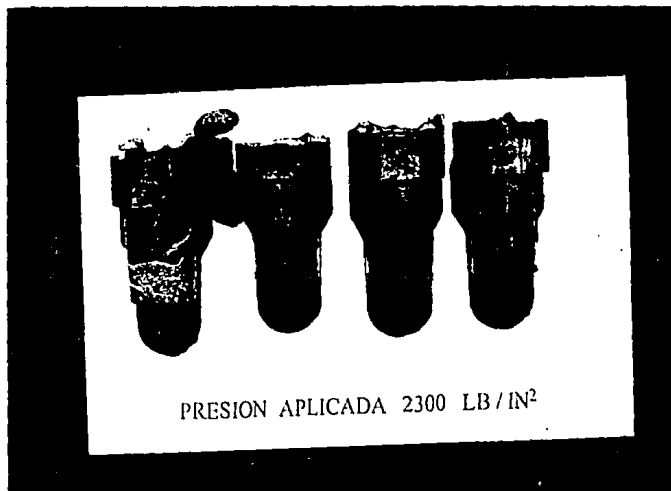


Fig. 7.9 Piezas obtenidas con aplicación de presión de 1.586 kN/cm<sup>2</sup> (2300 lb/in<sup>2</sup>)

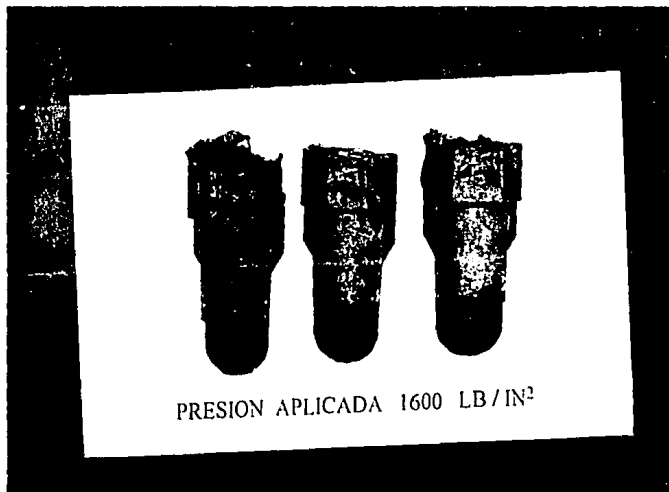


Fig. 7.10 Piezas obtenidas a 1.793 kN/cm<sup>2</sup> (2600 lb/in<sup>2</sup>).

### **7.5 Metalografía.**

La determinación del tipo de estructura de solidificación y del tipo de estructura obtenida por la aplicación de diferentes presiones al metal semilíquido se hizo por medio de un análisis a las piezas que se prepararon para su observación al microscopio de la siguiente manera: todas las piezas fueron seccionadas a la mitad y longitudinalmente, cada mitad fue preparada para su observación al microscopio, previo desbaste y pulido hasta lija 600 y de ahí se pasó al paño para obtener acabado espejo, posteriormente las piezas fueron atacadas con una solución de  $\text{FeCl}_2$  (10g) +  $\text{HCl}$  (30 ml) +  $\text{H}_2\text{O}$  (120 ml) para la observación de microestructura, y una solución de  $\text{FeCl}_2$  (25g) +  $\text{HCl}$  (25 ml) +  $\text{H}_2\text{O}$  (100 ml) para la observación de macroestructura, durante 30 segundos.

La observación metalográfica y toma de fotografías se llevó a cabo en microscopio óptico, a diferentes aumentos.

### **7.6 Pruebas de Dureza.**

A las mismas probetas utilizadas en la observación metalográfica se les realizó la prueba de dureza (resistencia a la penetración) Rockwell "B", haciendo tres pruebas en cada probeta, y tomando el promedio de estas como un valor representativo.

### 7.7 Pruebas de Resistencia a la Tracción.

La otra parte de las piezas seleccionadas, fueron maquinadas en el torno, probetas para ensayo de tracción de acuerdo a las dimensiones indicadas en la fig 7.11 . Una vez preparadas, fueron ensayadas en una maquina Universal Instron de 10 ton, a una velocidad de 1 mm/seg., todos los ensayos se hicieron a temperatura ambiente.

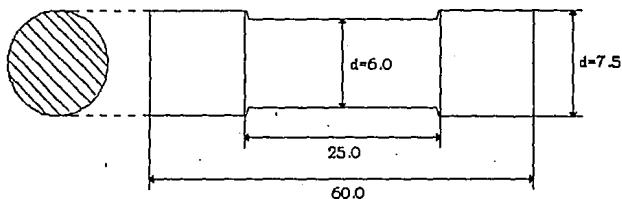


Fig.7.11 Dimensiones de la probeta para ensayos de tracción en una Máquina Universal Instron

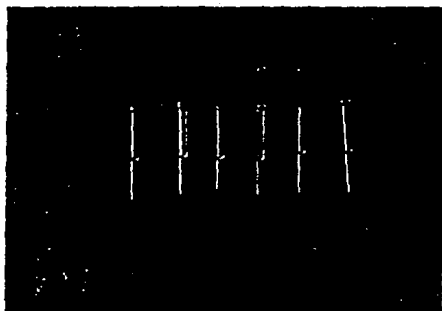


Fig. 7.12 Muestra de probetas para ensayo de tracción

## **8. RESULTADOS**

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos en las pruebas hechas a las probetas de latón naval.

### **8.1. Estructura Metalográfica.**

En las figuras 8.1 a 8.7 se muestra la macroestructura de las probetas solidificadas a las diferentes presiones, que van desde cero hasta  $1.793 \text{ kN/cm}^2$ ; y en las figuras 8.8 a 8.14 se muestra las fotomicrografías de las mismas probetas. Todas las fotomicrografías fueron tomadas a 100 aumentos en un microscopio óptico y utilizando para el ataque los reactivos que se mencionan en la sección 7.5.

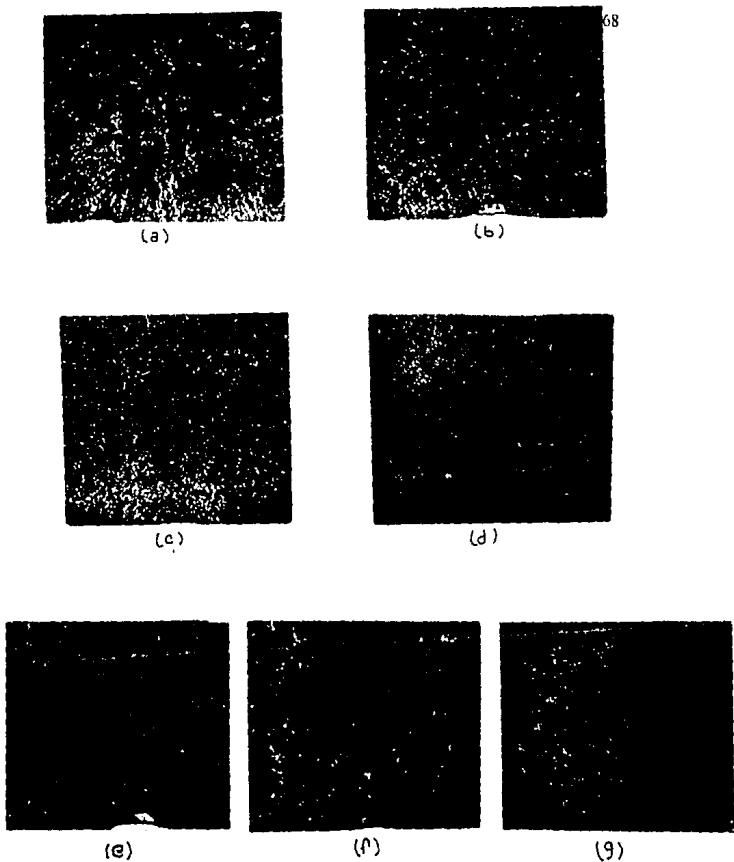


Fig. 8.1 Macroestructura de piezas de latón solidificadas a diferentes presiones. (a) Sin presión; (b) A  $0.310 \text{ kN/cm}^2$  de presión; (c) A  $0.586 \text{ kN/cm}^2$  de presión; (d) A  $0.862 \text{ kN/cm}^2$ ; (e) A  $1.034 \text{ kN/cm}^2$ ; (f) A  $1.586 \text{ kN/cm}^2$ ; (g) A  $1.793 \text{ kN/cm}^2$

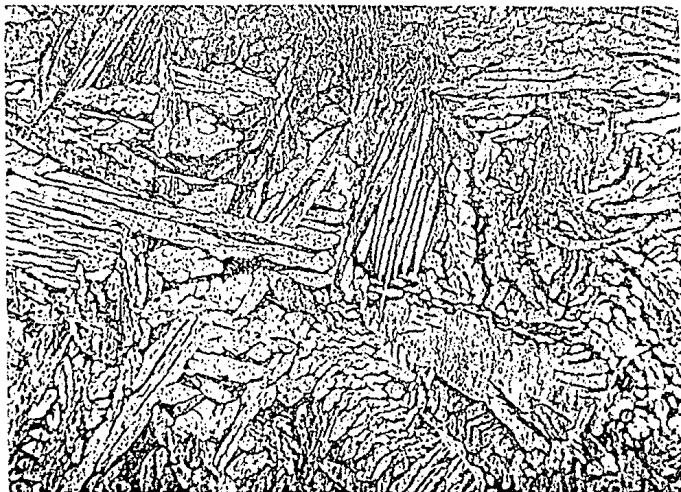


Fig. 8.2 Microestructura de pieza de latón solidificada sin presión aplicada (parte inferior de la probeta). Notamos granos de fase  $\alpha$  (clara) con granos  $\beta$  (más oscura). 100X

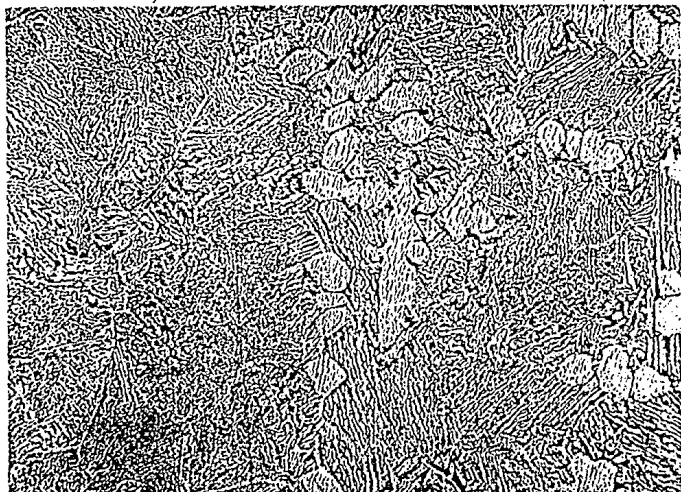


Fig. 8.3 Microestructura de pieza de latón, solidificada a 0.310 kN/cm<sup>2</sup> de presión (parte superior de la probeta). Granos  $\alpha$  y  $\beta$  más finos, con presencia de dendritas de fase  $\alpha$ . 100X

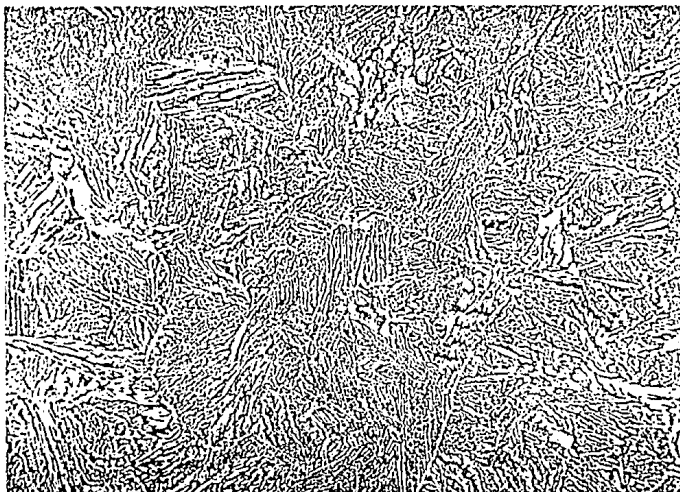


Fig. 8.4 Microestructura de pieza de latón naval solidificada a  $0.586 \text{ kN/cm}^2$  (parte inferior de la probeta). Notamos mezcla de fases  $\alpha$  y  $\beta$  con granos más finos que de la solidificada sin presión. 100X.

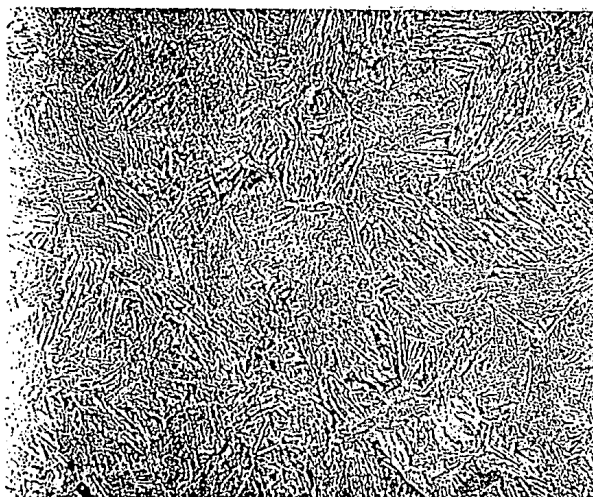


Fig. 8.5 Microestructura de pieza de latón naval solidificada a  $0.862 \text{ kN/cm}^2$  (parte superior de la probeta). Notamos una mezcla de granos finos de fases  $\alpha$  y  $\beta$ . 100X.

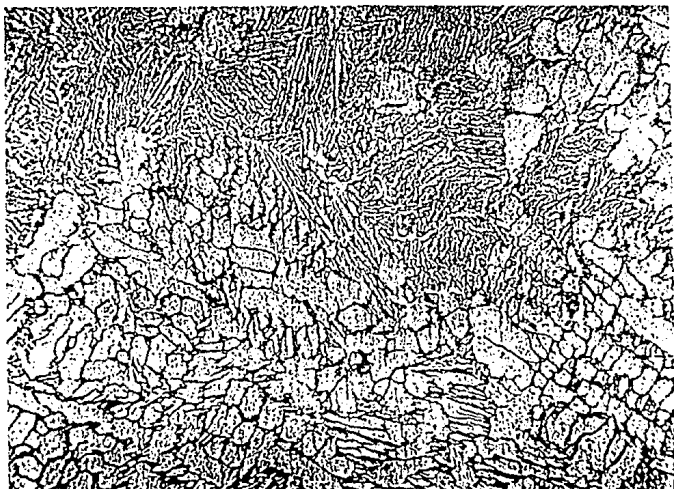


Fig. 8.6 Microestructura de pieza de latón naval solidificada a  $1.034 \text{ kN/cm}^2$  (parte inferior de la probeta). Vemos una mezcla de estructuras  $\alpha$  y  $\beta$  con secciones de dendritas de fase  $\alpha$  mucho más grandes. 100X

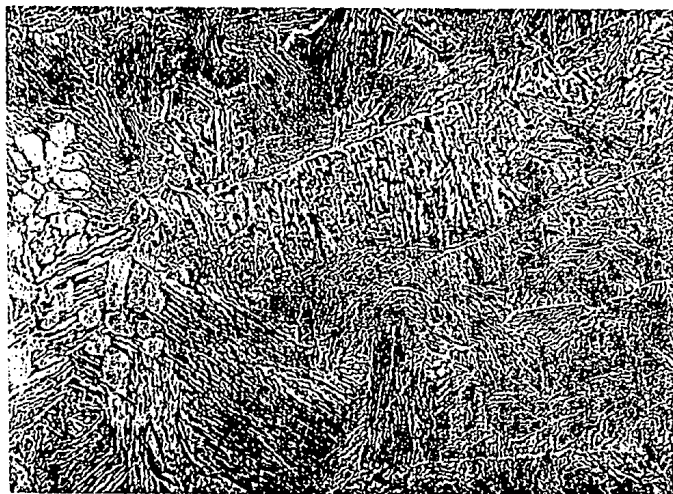


Fig. 8.7 Microestructura de pieza de latón naval solidificada a  $1.586 \text{ kN/cm}^2$  (parte inferior de la probeta). Se muestra una mezcla de granos finos de fases  $\alpha$  y  $\beta$  con algunas dendritas más grandes de fase  $\alpha$ . 100X





Fig. 8.8 Microestructura de pieza de latón naval solidificada a  $1.793 \text{ kN/cm}^2$  (parte inferior de la probeta). Se muestra una mezcla de granos de fases  $\alpha$  y  $\beta$  con dendritas grandes de fase  $\alpha$ . 100X

## **8.2. Pruebas Físicas y Mecánicas**

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas hechas a las 22 probetas obtenidas. En la tabla 8.1 se resumen: resistencia a la tracción, límite de fluencia al 0.2%, porcentaje de elongación, porcentaje de reducción en área; en la tabla 8.2 los datos de dureza Rockwell "B". Del mismo modo las gráficas mostradas en las figuras 8.9 a 8.13 dan el comportamiento de estas propiedades como una función de la presión de solidificación.

Tabla 8.1. Resultados de Ensayos Mecánicos Utilizando la Máquina Universal Instron

No. de Muestra	Presión Aplicada (kN/cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (P) (kN)	Tensión de Rotura (P/Ao)	Tensión de Rotura prom.	Carga al 0.2% (kN)
1.1	0	0.000	0		0
1.2	0	12.860	37.602		1.323
1.3	0	13.180	38.538	38.070	2.634
2.1	0.310	13.570	39.678		2.154
2.2	0.310	12.140	35.497	37.588	1.845
3.1	0.586	14.330	41.901		1.807
3.2	0.586	13.800	40.351		2.380
3.3	0.586	14.080	41.170	41.140	1.246
4.1	0.862	13.720	40.117		2.120
4.2	0.862	14.410	42.135		2.02
4.3	0.862	14.300	41.813	41.355	2.120
5.1	1.034	14.500	42.398		2.322
5.2	1.034	13.960	40.819		-0.25
5.3	1.034	13.680	40.000		-0.25
5.4	1.034	0.000	0.000	41.072	0.00
6.1	1.586	13.390	39.152		1.322
6.2	1.586	13.240	38.713		1.222
6.3	1.586	13.770	40.263		4.177
6.4	1.586	0.000	0.000	39.376	0.000
7.1	1.793	13.200	38.596		2.164
7.2	1.793	13.460	39.357		2.014
7.3	1.793	13.680	40.000	39.318	1.852

Ao= 0.342 cm<sup>2</sup>

Tabla 8.1 Cont.

Tensión de Rotura al PD.2% (kN)	Tensión de Rotura prom. (kN/cm <sup>2</sup> )	% elongación = $(l_0 - l_f/2) \times 100$	% elongación prom.	% de Reducción en Área = $(A_0 - A_f/2) \times 100$	% de Reducción en Área prom.
0		57.51		56.751	
3.87		48.42		57.545	
7.70	5.79	70.63	58.856	34.034	45.789
6.30		47.83		46.656	
5.39	5.85	21.18	34.503	25.681	36.158
5.28		44.43		41.675	
6.96		40.84		39.809	
3.64	5.30	31.27	38.846	30.543	37.342
6.20		29.63		26.443	
5.91		40.33		42.597	
6.20	6.10	35.55	35.170	36.954	35.331
6.79		37.38		43.740	
-0.073		28.68		28.783	
-0.073		50.91		34.525	
	2.21	70.1	38.988	31.047	35.676
3.865		42.77		38.390	
3.573		42.82		40.044	
12.213		42.91		39.809	
	6.55	0.23	32.184	2.691	30.233
6.327		43.88		46.212	
5.889		46.98		44.419	
5.415	5.88	47.70	46.190	42.137	44.256

$A_0 = 0.342 \text{ cm}^2$

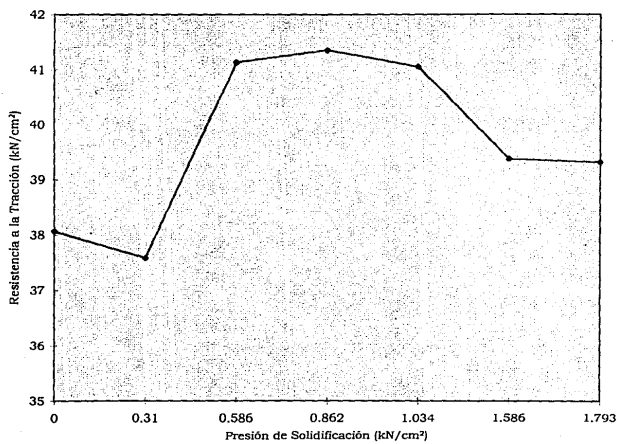


Fig. 8.9. Resistencia a la tracción vs Presión de Solidificación.

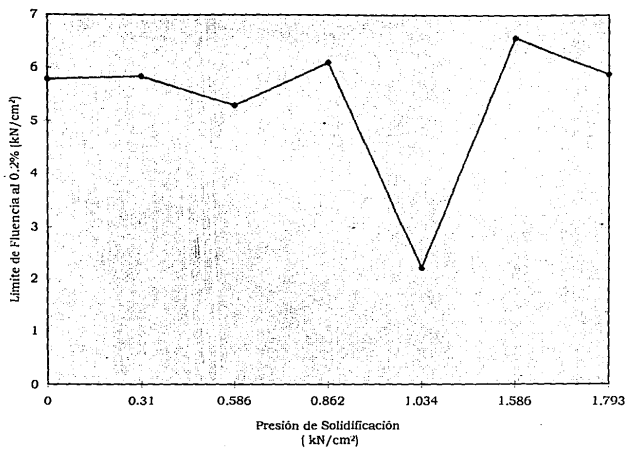


Fig. 8.10. Limite de Fluencia al 0.2% vs Presión de Solidificación.

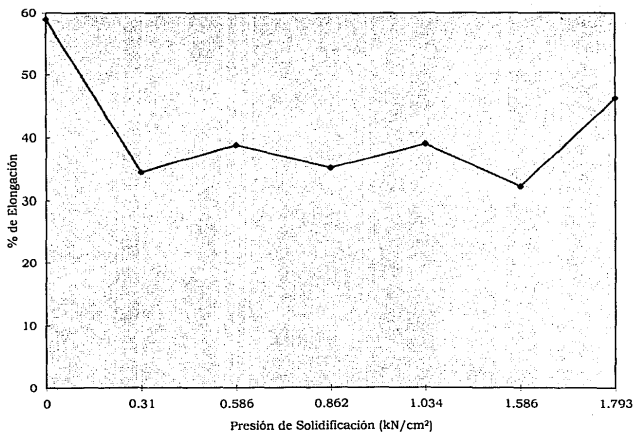


Fig. 8.11. Porcentaje de Elongación Promedio vs Presión de Solidificación.

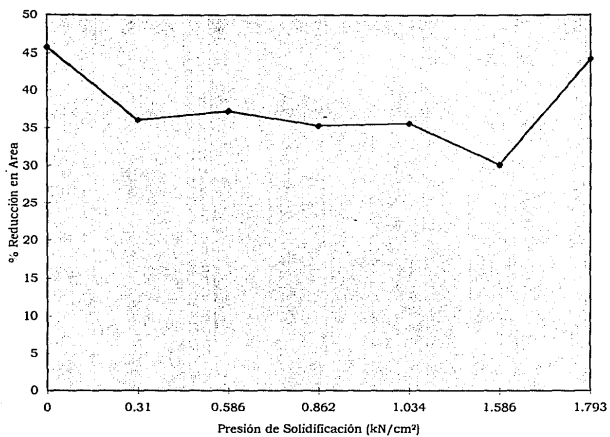


Fig. 8.12. Porcentaje de Reducción en Área vs Presión de Solidificación.

ESTA TESIS NO DEBE  
 SALIR DE LA BIBLIOTECA



Tabla 8.2 Resultados de las Pruebas de Dureza Rockwell "B".

No. de Muestra	Presión de solidificación ( $\text{kN/cm}^2$ )	Dureza Rockwell "B"	Promedio
1	0.000	37 41 38.8	38.9
2	0.310	32 49 48.5	43.1
3	0.586	54.5 57.5 58	56.6
4	0.862	47 58 58	54.3
5	1.034	33.5 47.5 50	43.6
6	1.586	51.2 52 51.5	51.6
7	1.793	37 53.5 54.5	48.3

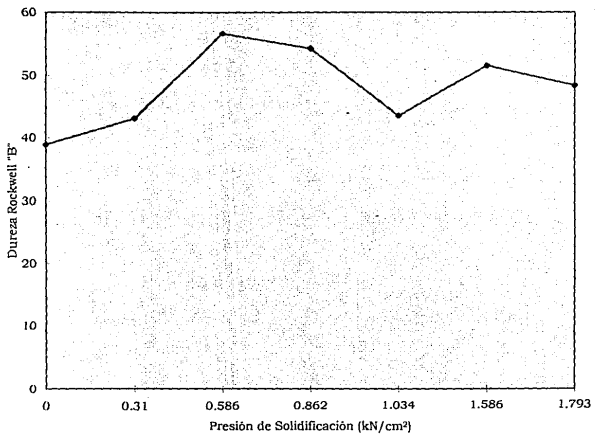


Fig. 8.13. Dureza Rockwell "B" Promedio vs Presión de Solidificación.

## 9. DISCUSIÓN

En el comportamiento de la resistencia a la tracción de las probetas obtenidas bajo nuestras condiciones experimentales con respecto a la presión de solidificación (fig. 8.9) podemos observar que en general esta propiedad no muestra un comportamiento regular, lo cual pienso podría deberse a: (a) una orientación errática de los granos del metal y (b) a que pudiera existir algún nivel de porosidad (no detectado) por nosotros en la observación de macro y micro estructura), sin embargo, podemos decir que esta propiedad tiende a incrementarse conforme la presión de solidificación aumenta.

La gráfica de límite de fluencia al 0.2% contra presión de solidificación (fig. 8.10), muestra un comportamiento más regular con excepción de un punto (presión de 1.084 kN/cm<sup>2</sup>, y en general se puede observar una muy ligera tendencia ascendente.

En cambio en las gráficas de porcentaje de elongación, y porcentaje de reducción en área contra presión de solidificación (figs. 8.11 y 8.12), se puede notar una misma tendencia, los puntos comprendidos en el intervalo 0.31 a 1.586 kN/cm<sup>2</sup> descienden y los comprendidos entre 1.586 a 1.793 kN/cm<sup>2</sup> ascienden nuevamente sin rebasar el valor del punto uno. Esto podría explicarse porque dichas propiedades tienden a disminuir por el tamaño y orientación de granos, así que es de esperarse que conforme aumente la presión aplicada, el metal muestre mayor solidez y muestre una mayor fragilidad.

En la gráfica de dureza contra presión de solidificación (fig. 8.13), aunque los puntos no son muy uniformes, se nota una tendencia en general ascendente, estando los puntos máximos en el rango de 0.586 a 0.862  $\text{kN/cm}^2$ . Las razones por las cuales la gráfica tiene este comportamiento, son las mismas que se explican en las gráficas anteriores.

Hay que hacer notar que las comparaciones se hacen con respecto al punto uno, ya que éste corresponde a la probeta sin presión de solidificación.

En relación a la macro y microestructura obtenida podemos afirmar que en general se tiene una estructura de granos equiaxiales, observándose que la probeta sin presión aplicada, el tamaño de estos cualitativamente es mucho mayor que en las muestras 2.1, 3.1, 4.1 y 5.1, en las cuales podemos ver un tamaño de grano muy fino y en las muestras 6.1 y 7.1 nuevamente el tamaño de grano equiaxial aumenta.

Lo anterior es debido a las condiciones experimentales las cuales nos indican que en estas últimas probetas el tiempo que tardamos en aplicar la presión fue mayor que en las anteriores, lo cual originó que la aleación iniciara su solidificación en un porcentaje mayor.

## 10. CONCLUSIONES

De los resultados de la presente investigación podemos concluir que en general y si las condiciones de trabajo son las adecuadas se puede lograr obtener piezas metálicas por el proceso de solidificación bajo presión con propiedades físicas y mecánicas mucho mayores que piezas obtenidas por solidificación sin aplicación de presión (colada por gravedad o presión atmosférica, en molde metálico y de arena), así mismo la estructura metalúrgica mostrada por piezas obtenidas por solidificación bajo presión, en general muestran presencia de fases con tamaño de grano mucho más fino, si el tiempo antes de aplicar la presión es lo suficientemente corto, es posible originar una pieza libre de porosidad con niveles no muy altos de presión. Además consideramos que las piezas obtenidas por este proceso muestran propiedades similares a las que tienen las piezas obtenidas por el proceso de forja en caliente.

En la obtención de las piezas estudiadas hubo un ahorro considerable de tiempo y material, por lo que si recomendamos este proceso como viable para la obtención de piezas en la industria metal mecánica.

## 11.- BIBLIOGRAFÍA

1.- Metals Handbook

Volumen 1 y 2

Octava Edición

2.- Copper and Its Alloys

E.G. West

Halsted Press

1982

3.- P.R. Beeley,

Foundry Technology,

Ed. Butterworths, 1972.

4.- H. F. Taylor - M. C. Flemings, J. Wulff,

Fundición para Ingenieros,

Ed. Compañía Editorial Continental, S.A. 1962

5.- H. W. Hayden, William G. Moffatt, J. Wulff,

Propiedades Mecánicas,

Ed. Limusa- Wiley, S.A. 1968

6.- Albert G. Guy

Metalurgia para Ingenieros,

Ed. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1965.

- 7.- F. A. Calvo  
Metalografía Práctica  
Editorial Alhambra, S. A., 1972.
- 8.- Robert E. Reed-Hill  
Principios de Metalurgia Física  
Editorial C.E.C.S.A., 1986.
- 9.- M. Flemings  
Solidification Procesing  
Ed. Mc. Graw Hill, 1974.
- 10.- G. Hernández, F. Villanueva  
Tesis " Investigación sobre Modificación y Tratamiento Térmico de Aleaciones de Aluminio" ,  
Facultad de Química, UNAM 1981.
- 11.- J. Martínez  
Tesis " Estructura Metalúrgica de una Aleación de Aliminio Solidificada Bajo Presión" ,  
Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, UNAM 1993.
- 12.- R. F. Lynch  
Squeeze Casting  
6th International Die Casting Congress  
Cleveland, Ohio, November 16 - 19 1970.

13.- R. F. Lynch

Squeeze Casting of Brass and Bronze  
ARS Translations.

14.- J. R. Franklin, A. A. Das

Squeeze Casting - Review of the Status.

15.- S. Rajagopal

Squeeze Casting: a Review and Up Date  
American Society for Metals,  
Volume 1, Number 4-3, 1981.