

60  
2 ef

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA  
MAQUINA PARA FUNDICION EN  
MOLDE PERMANENTE

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N :  
ALFONSO SALDIVAR CLAVELLINA  
IGNACIO GARCIA RODRIGUEZ  
ULISES FLORES PEREZ

Director de Tesis: Ing. Ubaldo E. Márquez Amador



MEXICO, D. F.

FALLA DE ORIGEN

1991



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.

## INDICE

CONTENIDO	PAGINA
<b>ANTECEDENTES</b>	
<b>CAPITULO I. ASPECTOS GENERALES DEL PROCESO DE FUNDICION</b>	
Definición.....	1
Clasificación del proceso.....	1
Modelo o patrón para moldear en arena.....	3
Materiales para modelos o patrones.....	3
<b>CAPITULO II. PROCESOS DE FUNDICION</b>	
Fundición en arena.....	6
Arenas de moldeo.....	6
Moldes de superficie seca.....	7
Moldes de arena en seco.....	7
Arenas.....	9
Propiedades de Arenas.....	12
Fundición por centrifugado.....	14
Fundición por gravedad.....	19
Fundición a presión.....	20
Moldes permanentes.....	22
Fundición en cámara caliente.....	22
Fundición en cámara fría.....	24
<b>CAPITULO III. FUNDICION A PRESION</b>	
El molde.....	28
Partición del molde.....	28
Guiado del molde.....	29
Fabricación del molde.....	31
Materiales para moldes.....	32
Técnica de ataque.....	37
Cálculo del ataque de colada y determinación de los parámetros más importantes.....	40
Pre calentamiento del molde.....	41
Refrigeración del molde.....	42
Insertos y machos fijos.....	44
Expulsión de la pieza inyectada.....	46
Machos móviles.....	49
Inyección compuesta o compound.....	50
Evacuación del aire del molde.....	51
Lubricante del molde y del pistón de inyección.....	53
Mantenimiento del molde.....	54

#### CAPITULO IV. FUNDICION POR GRAVEDAD

Fundición en molde permanente por gravedad.....	55
Metales empleados.....	56
Tamaño máximo de las fundiciones.....	58
Máquinas de fundición.....	59
Corazones.....	63
Selección de materiales para molde y corazones.....	64
Vida del molde.....	66
Influencia del diseño del molde.....	69
Recubrimiento para moldes.....	70
Temperatura del molde.....	73
Control de temperatura del molde.....	75
Extracción de piezas fundidas.....	77
Diseño de la fundición.....	79
Precisión dimensional.....	80
Acabado superficial.....	81
Defectos de fundición.....	82
Costos.....	83

#### CAPITULO V. DISEÑO Y FABRICACION DEL EQUIPO

Diseño del equipo.....	85
Tornillo.....	86
Cálculos.....	87
Escuadras.....	92
Sistema de expulsión y botadores.....	93
Moldes.....	96
Pernos cónicos.....	97
Insertos.....	98
Ruta de trabajo.....	101
Cálculo de tiempos.....	104
Programas CNC.....	110
Base de la máquina.....	116
Base soporte del tornillo.....	116
Manivela.....	117
Cruceta.....	117
Cálculo de tiempo de solidificación.....	118

#### CAPITULO VI. PRUEBAS, CORRECCIONES AL DISEÑO Y RESULTADOS

Pruebas con resinas epóxicas.....	122
Pruebas con plomo.....	122
Pruebas con aluminio.....	124

CONCLUSIONES.....	134
-------------------	-----

#### APENDICE A

#### DIBUJOS

**APENDICE B**

**SELECCION DE MATERIALES**

**APENDICE C**

**TABLAS PARA CALCULO DE PARAMETROS PARA CONFORMADO**

**POR ARRANQUE DE VIRUTA**

## ANTECEDENTES

La fundición o colada tiene orígenes muy antiguos, pues se han encontrado artículos creados por fundición que datan de 4000 A.C. su descubrimiento significó uno de los procesos más trascendentales de la evolución humana, pues la materia fundida al ser susceptible de modelado, dio origen a los más variados instrumentos y utensilios, que fueron acompañando del paso del salvajismo a la barbarie y de éste a la civilización.

La fundición aparece teniendo como motivo un fin bélico el cual posteriormente, durante el esplendor de la cultura China este fin cambio del bélico al artístico, de esta forma la fundición se convirtió en una de las artes más antiguas de la humanidad.

Hacia principios del siglo X ya existían algunos talleres y especialistas en fundición quienes fueron adquiriendo el oficio de una forma hereditaria o sea de padres a hijos.

No existen textos, ni patrones de trabajo realizados y de los conocimientos que se tenían en esos tiempos, pues estos conocimientos eran celosamente guardados, y además se trabajaban en talleres muy ocultos que por lo general estaban ubicados en las mismas casas.

Por fundición se entiende el conjunto de operaciones que permiten dar forma a los materiales metálicos mediante su fusión, su vaciado sobre un molde apropiado y su posterior solidificación en el interior de tal molde. Entre las diferentes fases que constituyen el proceso de fundición encontramos las operaciones de moldeo, fusión, vaciado, desmoldeo y las de acabado.

Los procesos han experimentado constantes perfeccionamientos que han permitido desarrollar complejas técnicas siderometalúrgicas. Estas técnicas han permitido desde la hechura de vasijas, hasta el fundido de cañones, balas, granadas, campanas, estatuas, tipos de imprenta, herramientas, máquinas y, en general casi todos los implementos de la industria actual.

Llegando a que los procesos de fundición sean indispensables en el desarrollo industrial y contando con una gran variedad de

estos.

En la República Mexicana es hasta la segunda mitad de este siglo cuando se empezó a mostrar interés y darle forma de industria a éste oficio, y así los procesos de fundición se elevaron gradualmente de las categorías de arte a oficio y posteriormente a ciencia y dando lugar a la publicación de libros y manuales que tratan de los procesos de fundición con la categoría o con el nivel de ingeniería de punta.

## CAPITULO I

### LA FUNDICION.

Definición: Se ha dado el nombre de fundición, colada o vaciado el proceso que da forma a un objeto al hacer entrar material líquido en una cavidad o agujero con la forma de la pieza requerida dándosele el nombre de molde y esperar a que solidifique antes de extraer las piezas para conseguir la forma que se requiere en el objeto sólido conformado.

Son muchos los materiales que se pueden colar así cómo son varios los procesos, se pueden adoptar una gran variedad de formas y tamaños con sus variantes.

En general la secuencia del proceso de fundición es:

- 1.- Elaboración del modelo, que cuenta con las características como son forma y tamaño que se desea en la pieza.
- 2.- Preparación del material que se emplea para hacer el molde.
- 3.- Con ayuda del modelo y el material del molde se construye el molde de la pieza deseada, es decir se realiza el moldeo.
- 4.- Se funde el metal del que va a hacer la pieza con sus constituyentes de aleación.
- 5.- Se lleva a cabo el vaciado o colado del metal fundido en el molde y se espera a que solidifique.
- 6.- Posteriormente se realiza el desmoldeo que consiste en extraer la pieza del molde para realizar la limpieza de la arena adherida y del excedente del material.

### CLASIFICACION DEL PROCESO

A fin de contar con un entendimiento y base de los diversos procesos de fundición es necesario conocer las clasificaciones y categorías de éstos procesos, clasificándose éstos por:

La forma en la cual se hace entrar el material a la cavidad del molde y según el tipo de molde si es permanente o no.

I En base a las fuerzas que provocan el llenado del molde

a).- Únicamente por la acción de la gravedad:

-Colada en arena ya sea en verde, en seco, en cáscara o el proceso



CO<sub>2</sub>, etc.

- Molde revestido o a la cera perdida.

- Colada en matriz

b).- Por fuerzas adicionales a las de la gravedad.

- Colada centrífuga.

- Fundición a presión.

- Colada hueco.

II En base a las características del molde.

a).- El molde se emplea para una sola operación de vaciado.

- Colada en arena.

- Molde revestido.

- Molde en yeso.

b).- El molde se emplea para varias operaciones de vaciado.

- Colada en matriz.

- Colada hueca ó Corthias.

- Fundición a presión.

Como se puede observar, existe un extenso uso de los procesos de colada y vaciado, en los que todos presentan las siguientes características:

1.- El molde debe ser de material refractario.

2.- Asegurar el método adecuado para introducir el metal en el molde y la salida de aire y gases, a fin de que no impida el correcto llenado del metal en el molde.

3.- El molde debe fabricarse con la forma y dimensión deseadas, considerando tolerancias como por ejemplo para la contracción del metal al enfriarse.

4.- Se debe contar con un control adecuado de la temperatura del metal.

5.- Facilidad para sacar la pieza solidificada del molde.

I a).- El molde perdido ó no permanente es el caso en el cual se realiza comprimiendo arena de fundición alrededor del modelo colocado en el interior de un bastidor adecuado llamado caja, después de la colada, se levanta la caja y se rompe el molde para extraer la pieza. Por lo cual para hacer otra pieza es necesario rehacer el molde.

II b).- En el molde permanente el molde se prepara sin ayuda de ningún modelo, labrando directamente en negativo la pieza en uno o

varios bloques de metal (generalmente hierro fundido o acero) que viene a constituir el molde que durará gran cantidad de fundiciones.

Algunas veces el molde permanente se hace de yeso, de modo que sirva para varias coladas, con sólo algunas leves reparaciones.

#### MODELO O PATRON PARA MOLDEAR EN ARENA

El modelo o patrón debe tener la forma de la pieza que se va a realizar, y cuenta con todas las características finales, el cuál es fabricado de madera, metal u otros materiales disponibles, tales como cera, poliestireno o resina epóxica, alrededor del cual la arena es apizonada para formar la cavidad que quedará con la geometría del molde.

El modelo o patrón debe de cumplir con las siguientes características:

- 1.- Mayores dimensiones con el fin de compensar la contracción del metal líquido al solidificarse.
- 2.- Ángulo de salida en los lados verticales, para permitir una fácil extracción sin que el molde sufra daño alguno.
- 3.- Tolerancias que permitan un acabado por maquinado cuando se requiera posteriormente.
- 4.- Resistencia y dureza para una mayor durabilidad sin que sufra modificaciones en su dimensión o forma.
- 5.- Posición de los corazones y de las cavidades adicionales cómo coladas y rebosaderos.
- 6.- Ligereza para tener una mayor facilidad de manejo.

#### MATERIALES PARA MODELOS O PATRONES

Los materiales de los cuales se construyen los modelos difieren grandemente por sus características y por lo tanto en sus aplicaciones. La decisión o criterio para utilizar un determinado material para un uso específico depende de:

- a).- Cantidad de producción esperada (a corto y largo plazo).
- b).- Requerimientos de complejidad y precisión dimensional.
- c).- Proceso de moldeo a emplearse, el uso o no de máquinas así

como el tipo y tamaño de las mismas.

d).- Tamaño y forma de la fundición.

#### Modelos de madera

La madera es utilizada para patrones de producción y muestras. dadp que es barato y fácil de conformar, sin embargo los modelos de madera, especialmente los contruidos de pino son muy susceptibles a contracción e hinchazón ocasionados por el cambio de humedad en la atmósfera. Adicionalmente son materiales heterogéneos en sus propiedades y algunos de reducida durabilidad.

Los materiales utilizados para pequeñas cantidades son el pino, el abeto y el roble que son maderas relativamente ligeras y blandas.

Para grandes cantidades de moldear se utilizan maderas duras como el Nogal y el Encino ó bien se emplean maderas laminadas que tienen una vida más larga, en algunos casos que la de los modelos de aluminio y próximas en duración a las de hierro gris. Las buenas construcciones se logran con más de 3 capas de laca, lo cual minimiza la absorción de humedad y por consiguiente el cambio volumétrico con una efectividad del 80%.

#### Modelos metálicos.

Son formados normalmente de aleaciones de aluminio (aleaciones 355 ó 356), hierro gris, acero ó aleaciones de magnesio y cobre. Las propiedades sobre las que se selecciona el metal son por su resistencia al desgaste, estabilidad dimensional, maquinabilidad y la posibilidad de lograr dimensiones más cerradas y un mejor acabado superficial. Alcanzándose grandes producciones con éstos materiales.

#### Modelos de plástico.

Estos materiales cuentan con excelente estabilidad dimensional y pueden ser producidas con menor habilidad que la que se puede requerir para un modelo igual metálico. Las resinas epóxicas utilizadas tienen adicionalmente las siguientes características:

- a).- Resistencia a la compresión, a la flexión y resistencia al impacto mayores que las que se obtienen en la madera.
- b).- Resistencia al ataque químico.
- c).- Exactitud dimensional.

Esto simplifica la construcción y resulta en un considerable ahorro en el costo para el diseño con contornos irregulares.

**Comparación de Características de Materiales Para Modelos**

Característica	Material			
	Madera	Aluminio	Acero	Plástico
Maquinabilidad	E	B	R	B
Resistencia al				
Desgaste	P	B	E	R
Resistencia	R	B	E	B
Peso (a)	E	B	P	B
Reparabilidad	E	P	B	R
Resistencia a:				
Corrosión (b)	E	E	P	E
Dilatación (b)	P	E	E	E

E: Excelente; B: Buena; R: Regular; P: Pobre

Fuente: D.C Ekey, M.P. Winter, "Introducción a la tecnología de la Fundición", McGraw Hill, 1958, p.46.

(a) Como factor de Operación en Fatiga; (b) Por agua

## CAPITULO II

### FUNDICION EN ARENA

Este proceso es utilizado en la obtención de piezas con una gran variedad de formas y aleaciones metálicas como por ejemplo de hierro, acero, aluminio, magnesio, cobre, latón, bronce, estaño, y plomo entre otros. El material que se emplea para la fabricación del molde es arena y de la forma de aglutinar las partículas se derivan las diferentes técnicas de fundición de arena. En donde todos tienen como característica en común en que el molde es unitario, esto es, sólo puede usarse en una ocasión, y se llena por gravedad. Entre las diferentes técnicas tenemos:

- Moldeado en verde.
- Moldeado en seco.
- Moldeado por el método CO<sub>2</sub>.
- Moldeado en cáscara.

Los factores que intervienen para un buen vaciado en arena son: El modelo o patrón, el molde, la arena, los corazones, el metal y las cavidades auxiliares (rebosaderos, respiraderos, etc.).

### ARENAS DE MOLDEO

La arena combinada con un aglutinante adecuado puede ser empaquetada firmemente sobre el modelo, así cuando el modelo es retirado permanecerá una cavidad con las características del modelo.

El metal fundido es vaciado en esta cavidad y una vez solidificado produce una replica fundida del modelo. La arena que forma la cavidad del molde se desprende fácilmente del metal.

Tipos: Los moldes de arena pueden clasificarse en cuatro grandes categorías:

- a) Moldes de arena en verde
- b) Moldes de superficie seca
- c) Moldes de arena seca
- d) Moldes y corazones de arena seca
- e) Otros tipos de moldes de arena

Los moldes de arena en verde son los más ampliamente usados de

todos los moldes de arena. Estos son hechos de arena, arcilla, agua y otros materiales, y son usados sin tratamientos adicionales (verde indica que la mezcla de arena para moldeo es empleada con un gran contenido de humedad).

En éstos moldes pueden producirse fundiciones de metales ferrosos y no ferrosos. Los moldes son preparados, el metal es fundido y vaciado, y las piezas son obtenidas en rápidos ciclos de fundición. El moldeado en arena en verde es adaptable a máquinas de moldeado, como en máquinas de moldeo por presión y en máquinas de moldeado automáticas.

Las ventajas de moldeado de arena en verde son:

- 1.- Es el método menos costoso de producir un molde
- 2.- Existe menos distorsión que en los moldes de arena seca porque no se requiere ningún horneado (cocimiento)
- 3.- Las cajas de moldeo se pueden emplear en un mínimo de tiempo
- 4.- La precisión dimensional es buena a través de la línea de partición
- 5.- Existe menos peligro de grietas superficiales, que en otros tipos de molde

Las desventajas de moldes en arena en verde son:

- 1.- El control de la arena es más crítica que en moldes de arena en seco
- 2.- La erosión de los moldes es más común en la producción de grandes fundiciones
- 3.- El acabado superficial disminuye conforme el peso de la fundición se incrementa

Moldes de superficie seca

La superficie de grandes moldes son secados con mucha frecuencia, en atmósferas secas, una apreciable cantidad de humedad es eliminada de las superficies de los moldes sencillamente por el almacenamiento por un cierto tiempo. Los sopletes se emplean para el mismo objetivo, lográndose un espesor de menos de 1/2 pulgada y que aún se clasifican como moldes de arena en seco.

Moldes de arena en seco.

Estos moldes son secados a una profundidad mayor de 1/2

pulgada dependiendo del espesor de la sección. Son horneados a 130 a 370°C (300 a 700°F), de 8 a 48 horas dependiendo del aglutinante usado en la mezcla de arena y la cantidad de arena superficial a ser secada y en base a los requisitos de ciclos de producción. Los moldes de arena en seco generalmente son usados en lugar de los de arena en verde para obtener fundiciones de tamaño medio y grande, tales como rodillos, corazas, engranes y componentes de maquinaria.

Las ventajas del molde de arena en seco son:

- 1.- Los moldes son de mayor resistencia que los moldes de arena en verde y son menos susceptibles al daño en el manejo.
- 2.- Sobre todo tiene una mayor precisión dimensional que los moldes realizados con arena en verde.
- 3.- El acabado superficial de la fundición es mejor, porque los moldes son cubiertos con un baño.

Las desventajas que presenta éste proceso de moldeado son:

- 1.- Las fundiciones son más susceptibles a presentar grietas por contracción.
- 2.- Mayor distorsión de las piezas.
- 3.- Mayor equipo.
- 4.- Mayor tiempo de producción.

El moldeado de corazones en arena en seco es una práctica similar al formado de moldes de arena en seco, lográndose las mismas ventajas.

Otras operaciones de moldeado incluyen:

Dióxido de carbono - Silicato de sodio - Método  $CO_2$ .

Moldeado en cáscara.

Moldes de cemento.

Moldeado con aceite.

Moldeado con oxígeno y aceite.

Las ventajas de éstos procesos son:

- 1.- La arena ésta libre de fluir, y por lo tanto disminuye la compactación de la arena.
- 2.- La resistencia del molde es mucho mayor, lo que permite reducir, el peso del molde y facilitar el manejo de grandes

moldes.

- 3.- Los rangos de producción son altos.
- 4.- Los moldes pueden usarse sin cajas de moldeo.
- 5.- Muchos de éstos tipos de moldes pueden producir fundiciones con tolerancias muy cerradas.

La mayor desventaja de la mayoría de éstos procesos es que la arena debe de ser usada inmediatamente. Los moldes a la cáscara son excepciones, porque pueden almacenarse indefinidamente.

#### ARENAS

Las arenas son materiales con las cualidades que se requieren para la fabricación de los moldes de piezas que se desean obtener para fundición en arena:

- a).- Son plásticas.
- b).- Tienen cohesión y resistencia.
- c).- Resisten la acción de elevadas temperaturas, es decir son refractáreas.
- d).- Permiten la evacuación rápida del aire o gases generados durante la colada por la acción del calor, es decir son permeables.
- e).- Son fácilmente disgregables.

Las arenas de sílica son utilizadas para varias operaciones de moldeo en arena. Estas son de dos tipos; naturales y sintéticas. Las arenas naturales contienen hasta 20% de contaminantes base arcillas y si éstas contienen partículas de bajo punto de fusión como micas, sales de sodio o potasio sólo podrán ser usadas para fundiciones de aluminio. Las arenas sintéticas son generalmente de sílica, zircón, olivinita o cromita, a las cuales les son añadidos material aglutinante casi puro formado principalmente por arcilla.

Muchas fundiciones que producen piezas de materiales de alto punto de fusión utilizan arenas sintéticas debido a que su composición puede ser controlada con mayor exactitud. Pero puede emplearse una mezcla de ambas arenas que son comúnmente empleadas para fundiciones de hierro gris y maleables.

El tamaño de grano y forma es muy importante cuando el metal líquido esta en contacto con las paredes del molde de arena en



verde ya que se genera vapor y una gran cantidad de gases, y si el molde no tiene una cierta salida que permita el escape de los gases, la presión en la cavidad del molde aumenta hasta que el metal salga del molde (o en caso extremo hasta que los gases exploten y destruyan el molde). Esta porosidad es el primer requisito en un molde satisfactorio y ésto se logra mediante el control de la forma y el volumen de los poros que se presentan dentro de la masa de los granos de arena compactados. El tamaño de los poros esta determinado por el tamaño, distribución, la forma y el tipo de empaquetamiento de los granos. Los granos esféricos producen los poros más grandes y mejor conectados; granos angulares o aciculares proveen una baja conexión. Si existe una mezcla de granos grandes y pequeños lo cual generalmente reduce el tamaño de poros. Adicionalmente el agente aglutinante es más efectivo cuando la superficie de cada partícula es cubierta con una capa uniforme y se requiere de una mayor cantidad si es mayor la superficie del grano, y depende todo ésto del grano.

Por ejemplo el área superficial de una pulgada cúbica de arena del tamaño malla 200 es seis veces mayor que el área de un tamaño de malla 400 en la misma cantidad. Por lo tanto como todos los agentes aglutinantes producen gas cuando son calentados los moldes hechos de arena de grano pequeño producen más gas que aquellos hechos de arena de grano más grande.

Las caras de los moldes deben soportar la erosión causada por la compresión del metal líquido y el flujo sobre ellas. Si los granos individualmente no se mantienen en su lugar firmemente, pueden desprenderse hacia el molde y pueden causar un defecto en la fundición, y sólo pueden mantenerse por la unión con el elemento aglutinante y aquellos granos que no sean bañados total o parcialmente tendran poca adhesión y el mejor recubrimiento de enlace se logra con granos de mayor tamaño.

Cuando el metal se pone en contacto con la cara del molde, las partículas de arena rápidamente se calientan y se dilatan. La sílica o cuarzo entre 426 a 595°C (800 a 1100°F) cambia su estructura cristalina de  $\alpha$  a  $\beta$ , el cual va acompañado por un rápido incremento en volumen (Ver figura 2.1). Si la arena la compactamos con mayor presión, a menos que el grano esté libre de

expandirse cuando es calentada se produzcan defectos en las piezas producidas por el agrietamiento del molde. Por lo que no hay que compactar demasiado para evitar defectos de éste tipo en la pieza deseada.

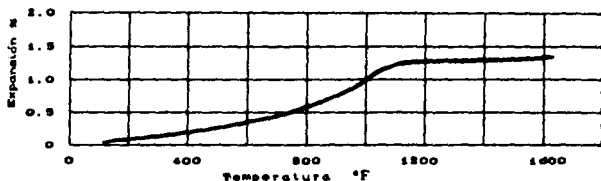


Fig 2.1. Efectos de la temperatura sobre la expansión de sílice

Para evitar ésto existen cuatro procedimientos a seguir:

- 1.- Utilizar menos fuerza o presión en el moldeado.
- 2.- Añadir substancias al material de moldeado que se licúe o volatilice y así crear espacios para que los granos puedan expandirse libremente.
- 3.- Utilizar una mezcla de diversos tamaños de grano los cuales produzcan una superficie estable y permitan una expansión de los granos de arena.
- 4.- Incrementar la resistencia en verde.

Debido a la expansión de la arena de sílica y que presenta un serio problema se utilizan a veces materiales más costosos como zirconio, olivina, cromita y arcilla calcinada. Ninguna de éstas arenas se dilata tanto como la sílica. Y la cromita y zirconio tienen una ventaja adicional y es que tienen una conductividad térmica más alta. La arcilla calcinada se emplea en la producción de grandes moldes debido a su baja dilatación térmica.

El tamaño y peso de la fundición también influye en usar un mínimo de tamaño de grano requerido. Las fundiciones grandes y pesadas y sobre todo aquellas de metales de alta temperatura de

fusión requiere de arenas con grandes poros para que permitan la salida de las grandes cantidades de gases y vapores formados durante la colada. Pero también permite que el metal penetre entre los poros y ésto se acentúa con metales de alta fluidez y por la presión metaloestática, dando por resultado, de todo lo anterior, un mal acabado superficial, lo que puede mejorarse al pintar el molde con una pintura refractaria y poner arena fina en las primeras capas. Debe haber un compromiso y el mejor compromiso es seleccionar arena con tamaño de grano diverso teniendo un tamaño de poro relativamente grande.

Para fundiciones muy pesadas de varios cientos de kilos de acero se emplea la arena No.1, la arena No.2 para fundiciones de tamaño medio y la de No.3 para fundiciones pequeñas de hierro gris y maleable que van de 25 Kg a varios cientos de Kg utilizan una mezcla del No.1, 2, 3, 5 y 7. Fundiciones ligeras de hierro pueden ser hechas con arena No.4, y 8. Fundiciones de aleación de aluminio, son hechas en moldes similares a las del No.9, 10, 11, 13 y fundiciones de aleaciones de cobre con mezclas del No.8, 10 y 12.

Tabla 2.1 Análisis de Malla de 13 Tipos de Arenas de Moldeo

Mezcla Número	Distribución de grano % retenido en malla de tamaño								cazuela arcilla	
	30	40	50	70	100	140	200	270	%	%
1	1.0	33.0	44.0	15.0	4.0	3.0	....	...	...	...
2	3.0	19.0	30.0	24.0	15.0	6.2	2.0	1.0	...	...
3	...	1.0	15.0	32.0	32.0	15.0	4.0	1.0	...	...
4	...	....	2.0	14.0	39.0	31.0	11.0	3.0	...	...
5	...	5.0	28.0	48.0	14.0	5.0	....	...	...	...
6	...	2.0	6.0	14.0	29.0	35.0	10.0	4.0	...	...
7	...	3.0	7.0	26.0	57.0	6.0	....	...	...	...
8	...	0.6	1.4	7.0	26.0	37.0	22.0	4.0	2.0	1.0
9	...	...	2.0	10.0	15.0	20.0	20.0	17.0	15.0	...
10	...	1.0	1.0	8.0	21.0	33.0	24.0	8.0	5.0	...
11	...	1.0	5.0	6.0	12.0	15.0	14.0	15.0	15.6	16.0
12	...	2.0	11.0	33.0	33.0	16.0	4.0	1.0	...	...
13	...	...	2.0	3.0	10.0	22.0	30.0	14.0	17.0	...

#### PROPIEDADES DE ARENAS

Las propiedades de las arenas para moldes deben ser controladas para obtener fundiciones de calidad. Propiedades que pueden ser medidas a temperatura ambiente como son humedad, resistencia a la

compresión en verde, contenido total de arcilla, resistencia al corte de la arena, permeabilidad, contenido de arcilla activa, contenido de arcilla inerte, distribución de granulometría, contenido de combustibles, resistencia en seco, tenacidad y densidad de compactado.

Las propiedades a elevadas temperaturas son parcialmente importantes en el mecanizado para altas producciones de moldeado. Por el uso de hornos especiales, las pruebas que pueden ser hechas a temperaturas preseleccionadas para medir la resistencia en caliente, la evolución de gases (volumen y rapidez) expansión térmica y susceptibilidad al agrietamiento.

Desviaciones de éstas propiedades conducen a defectos en las piezas de fundición que se listan en la siguiente tabla:

Defectos en piezas típicas resultados de alteraciones de las propiedades arriba o abajo de los límites especificados .

Propiedades de la arena.

Defectos de la fundición

Prop. arriba del límite	
Contenido de humedad	Porosidades, rugosidad, grietas, inclusiones de óxido, imprecisión dimensional, dificultad de desmoldeo.
Permeabilidad	Pobre acabado, picaduras, falta de llenado en secciones delgadas, envenado,
Resistencia en verde	acabado rugoso, dificultad de desmoldeo, agrietamiento superficial, imprecisión dimensional, poros y picaduras.
Resistencia en seco	
Resistencia en caliente	
Defectos en caliente	
Contenido de combustibles	
Prop. abajo del límite	
Cont. de humedad	erosión del molde, pobre acabado, rompimiento de los bordes del molde.
Permeabilidad	Porosidades, penetración

	en el molde, dificultad de desmoldeo.
Resistencia en verde	Erosión del molde, grietas picaduras, mala precisión, segregación.
Defectos en verde	Erosión del molde, grietas
Dureza del molde	Erosión del molde, rugosidad superficial, penetración del metal en el molde.
Resistencia en seco	Grietas
Resistencia en caliente	Grietas, pobre acabado, penetración del metal en molde,
Defectos en caliente	Grietas, segregación, pobre acabado.
Contenido de combustible	Pobre acabado, segregación imprecisión

---

#### FUNDICION POR CENTRIFUGADO

Estos procesos se refieren más específicamente a las fuerzas empleadas para distribuir el metal en el molde, que el proceso mismo de moldeo, ya que el molde gira mientras se vacía y solidifica el metal, aprovechándose la fuerza centrífuga, lo que permite lograr un perfecto llenado del molde y mejores detalles superficiales. Sin embargo, se considera un proceso debido a la configuración de los moldes.

El ejemplo más común de fundición centrífuga, es la fabricación de tubos, empleando moldes permanentes o molde tubulares de arena.

Existen variaciones en la forma de obtener piezas por fundición centrífuga, las más comunes son:

a) Fundición centrífuga: Mediante éste método se pueden obtener formas circulares, simétricas y no simétricas, tales como tubos, camisas para cilindros, etc. Las piezas coladas tienen una cavidad interior cilíndrica, cuyo eje longitudinal coincide con el eje de rotación de la máquina. Normalmente no se emplean corazones para hacer tales productos. (Figura 2.2)

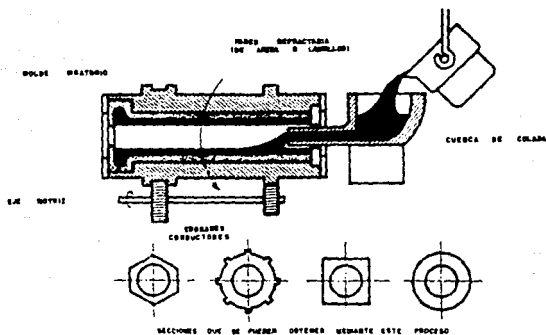


figura 2. 2. Colado por centrifugado

Se utilizan metales como el acero, aleaciones de níquel, bronce y aleaciones de aluminio para trabajar. Las dimensiones de las piezas obtenidas pueden variar de 150 a 1500 mm de diámetro y hasta 6000 mm de largo. Los ejes de rotación de los moldes pueden ser tanto horizontales como verticales.

Mediante éste proceso, se obtienen piezas tubulares que no pueden ser fácilmente roladas, forjadas o extruidas.

El método consiste en vaciar una cantidad predeterminada de metal fundido (de 50 a 100 gr) dentro de un molde en rotación, efectuándose varias coladas hasta que se obtiene el espesor deseado de la sección. Las velocidades más comunes de rotación van de 200 a 1000 rpa.

b) Fundición semicentrífuga. El molde también gira alrededor de su eje vertical, pero la velocidad de giro no es tan alta como la centrífuga.

Cuando se requiere una cavidad central se puede utilizar un corazón para formarla o se maquina después de obtener la pieza. Si se quieren varias piezas en una sola colada se hace un molde de cavidades múltiples colocadas una sobre otra, y unidas por un alimentador central. (figura 2.3)

El número de coladas que se pueden hacer por molde, depende de

su tamaño, de lo conveniente de sus manejo y del acomodo de los moldes. Las piezas obtenidas por éste método poseen una estructura densa en la periferia donde se necesita, mientras que en el metal del centro (menos denso) se elimina por maquinado posterior.

c) Fundición por centrifugado. Al igual que los dos métodos anteriores, las cavidades de los moldes se llenan a presión, a medida que el molde gira ocasionado por la fuerza centrífuga del metal.

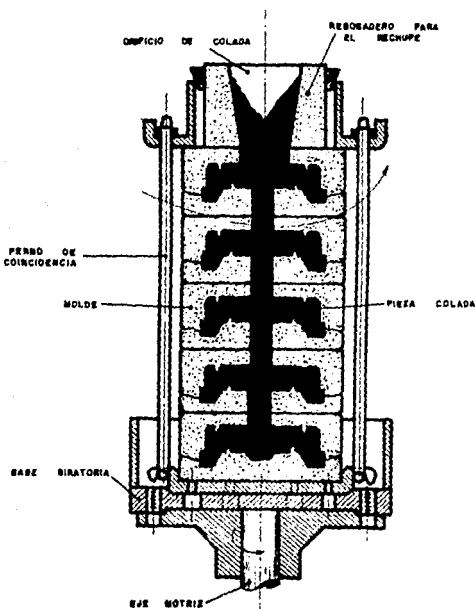


figura 2.2. Colado semicentrífugo

La velocidad de giro depende de la clase del molde utilizado (arena o metal), la disposición del eje de rotación (horizontal o vertical), el tamaño de la fundición y el tipo de metal que se va a vaciar.

Debido a la presión ejercida sobre el metal se pueden producir secciones más delgadas de lo que no sería posible de obtener por colados estáticos (por gravedad).

El proceso consiste en colocar varias cavidades de colada en torno de la porción exterior de un molde, el metal se suministra a las cavidades por medio de alimentadores radiales, desde el centro del molde (figura 2.4.); es posible emplear moldes individuales o de cavidades múltiples. (figura 2.5).

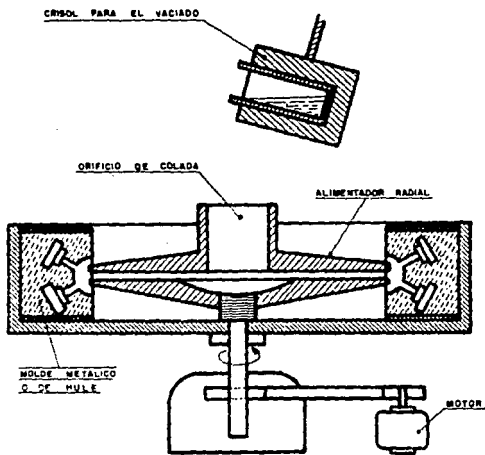


figura 2.4. Colado por centrifugado



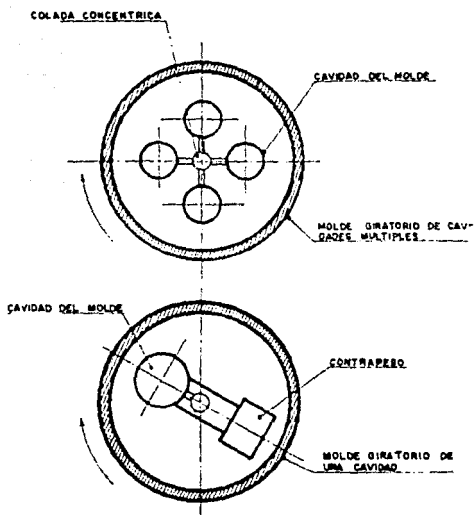


figura 2.3 Colado por centrifugado

## FUNDICION POR GRAVEDAD

La fundición en molde permanente por gravedad es conveniente, cuando se necesita obtener 500 o más piezas de un sólo modelo y no se cuenta con sistema ya sea parcial o totalmente automáticos para el moldeo en arena. Los moldes permanentes son utilizados con frecuencia para fundiciones de aluminio, zinc o bronce, y a partir de 1971, el acero empezó a ser una fundición comercial debido al empleo de moldes de molibdeno.

Como los moldes no se van a utilizar para metales de alto punto de fusión, se hacen de acero o de fundición aleada de hierro, son caros por la forma entera de la pieza, el orificio de colada, respiraderos, etc., deben de ser maquinados u obtenidos junto con el molde, si éstos son de fundición deben permitir la contracción del metal cuando se enfría y el molde debe de ser diseñado para que la pieza fundida pueda extraerse fácilmente sin que se distorciona.

El molde puede consistir de dos a cuatro partes, con algunas secciones desplazables hacia fuera de la pieza. Este desplazamiento puede hacerse manual, mecánica, neumática o hidráulicamente.

Los corazones pueden ser de acero o arena seca. En el primer caso, su colocación y extracción puede ser manual o automáticamente; los de arena seca se colocan manualmente y se extraen por los métodos convencionales.

Para la salida del aire y los gases que se forman durante el vaciado, se pueden utilizar pequeñas ranuras de 0.125 a 0.25 mm. de profundidad o pequeños barrenos que permiten su escape.

Estos moldes tienen una duración de 1000 a 10000 piezas antes de ser reparados para corregir dimensiones. Las piezas obtenidas pueden pesar sólo unos cuantos gramos o hasta más de 25 kg también se pueden utilizar moldes con cavidades múltiples cuando los requerimientos de producción y el tamaño de la pieza lo amerite.

El molde se mantiene a temperatura constante en el período de trabajo, mediante la combustión de gas L.P. ó con energía eléctrica. Una vez al día o con mayor frecuencia, el molde es rociado con un agente refractario o con un recubrimiento hecho de grafito, óxido de aluminio y otros materiales mezclados en silicato de sodio y agua. Este recubrimiento previene al molde

de choques térmicos y evita una fusión ocasional del metal fundido al molde.

Se pueden utilizar los mismos métodos de fundición, vaciado y limpieza que para la fundición en arena. No es comercial un sistema de moldes permanentes completamente automático, aunque el proceso de fundición si puede serlo.

En éste proceso no se utiliza presión excepto la obtenida por la columna del metal en el molde (presión metalostática).

El proceso se utiliza satisfactoriamente para piezas de metales ferrosos y no ferrosos, aunque este último tipo, no presenta muchos problemas como las piezas de metales ferrosos, debido a las bajas temperaturas de vaciado. El tipo más simple del molde permanente ésta dispuesto en forma "tipo libro", embisagrado de un lado del molde, teniendo en el otro lado del molde dispositivos para mantener juntas las dos mitades. Algunas máquinas de alta producción, están dispuestas de forma circular y tienen moldes colocados en varias estaciones. El ciclo de trabajo consiste en vertir el metal, enfriamiento y expulsión de la pieza, soplado de los moldes, recubrimiento de ellos, y en algunos casos colocación de corazones.

#### FUNDICION A PRESION

La fundición en matriz o en molde permanente es un proceso en el cual el metal líquido es forzado a entrar a presión en el molde metálico, conocido como matriz. Por la razón de que este metal se solidifica bajo una presión de 0.6 a 275 MPa, la pieza de fundición se configura a la cavidad de la matriz en igual forma y acabado superficial que esta. La presión usual es de 10.3 a 14 MPa.

La fundición en matriz es el proceso de molde permanente más ampliamente utilizado. Y existen dos métodos empleados:

- 1.- De cámara caliente.
- 2.- De cámara fría.

La principal distinción entre los dos está determinada por la colocación de la olla de fundición. En el método de cámara caliente, la olla de fundición está incluida con la máquina, y el cilindro de inyección queda sumergido en el metal líquido todo el tiempo. El cilindro de inyección es movido ya sea por presión

neumática o hidráulica, la que fuerza el metal al interior de la matriz, para así completar el llenado de la pieza fundida. Las máquinas que se utilizan en el proceso de cámara fría tienen el horno separado, y el metal es introducido al cilindro ya sea manual o por métodos mecánicos. Después la presión hidráulica fuerza el metal al interior de la matriz.

El proceso es rápido ya que la matriz y el corazón son permanentes. La superficie suave no solamente le proporciona buena apariencia, sino que también disminuye el trabajo requerido de preparación para un posterior acabado de plateado o algún otro tipo de acabado. Los espesores de la pared pueden ser más uniformes que los de la fundición en arena y consecuentemente se requiere menos metal. Los promedios de producción en cantidades óptimas son de 1000 a 20000 piezas. Si la pieza es de latón llegan a pesar 2.3 kg, pero las de aluminio pueden llegar a pesar hasta 50 kg. Las fundiciones pequeñas o medianas pueden fabricarse en ciclos promedio de 100 a 800 inyecciones por hora. El tamaño puede ser controlado en forma precisa y ocasionalmente se tendrá que usar maquinado posterior. Las pérdidas de material son bajas, ya que el bebedero o canal de entrada puede ser fundido nuevamente. El proceso elimina operaciones de maquinado tales como de barrenado y ciertos tipos de cuerdas. Las tolerancias varían de acuerdo al tamaño de la pieza de fundición y de la calidad del metal utilizado. Para fundiciones pequeñas, los promedios de tolerancias son de  $\pm 0.3$  a  $0.25$  mm. Las tolerancias cerradas se obtienen cuando se emplean las aleaciones de zinc en fundición en matriz.

Una de las limitaciones de este proceso es el alto costo de los equipos y materiales. Por otra parte la vida del molde o matriz disminuye conforme aumenta la temperatura del metal. Los metales que tengan un alto coeficiente de contracción deben ser eliminados del molde lo más rápidamente posible a causa de la incapacidad del molde de contraerse con la pieza fundida.

Las piezas fundidas en matriz se ha limitado a aleaciones de bajo punto de fusión pero con un aprovechamiento gradual de los metales de alta resistencia al calor para matrices, éste proceso se puede utilizar hoy en día para numerosas aleaciones, fundiciones de hierro gris y aleaciones de bajo contenido de

carbono y aleaciones de acero se han producido en matrices de una aleación de molibdeno sinterizado, pero el proceso es comercialmente limitado a aleaciones no ferrosas.

#### LOS MOLDES PERMANENTES

Los moldes permanentes tanto para cámara caliente como para cámara fría, son similares en construcción porque hay muy poca diferencia en el método de sujetarlos y separarlos. Se le hacen dos secciones para proveer un medio de retirar las piezas fundidas, y usualmente van equipadas con gruesas clavijas para mantener las mitades correctamente alineadas. El metal entra por el semimolde fijo cuando la matriz está fija en la posición cerrada. A medida que se abre la placa de expulsión, colocada a mitad de la parte móvil de la matriz, cuando avanza de tal forma que las clavijas se proyectan a través de la mitad de la matriz y expulsan la pieza de la cavidad y de los corazones fijos. Las matrices van provistas con mecanismo por separado, para mover la placa expulsora o de los corazones móviles. La vida de éstos moldes, depende del metal vaciado y puede alcanzar promedios hasta de 10000 inyecciones, si se trabaja con latón, y hasta varios millones de piezas si se trabaja con zinc.

Casi siempre es deseable proveer de ventilación y pequeños depósitos en demasía a un lado de la matriz para fabricar el escape de los gases y para recoger el metal sobrante que se haya pasado a la cavidad de la matriz. A pesar de ésta previsión, hay una cierta cantidad de metal disperso que debe ser cortado en la operación de colado.

Para piezas de fundición simples o complejas, un simple molde de una cavidad puede usarse. Si la cantidad de piezas a ser producidas es grande y si el tamaño relativamente pequeño, se puede usar una matriz de cavidad múltiple. La mayoría de las matrices están provistas con conductos para el agua de enfriamiento para así mantener a la matriz en la temperatura correcta por lo rápido de la producción.

Fundición en matriz en cámara caliente.

Las aleaciones de bajo punto de fusión de zinc, estaño y plomo son los materiales de fundición más ampliamente usados en máquinas

de cámara caliente. La mayoría de los demás materiales tienen muy alto punto de fusión, y afinidad por el hierro, y aquellos que crean otros problemas y que pueden reducir la vida de la máquina. Las piezas de fundición en cámara caliente varían en tamaño de 20 gr a 40 kg aunque en el caso de piezas de fundición muy chicas, éstas son comúnmente vaciadas en moldes de matriz múltiple.

En este método, el metal es forzado a entrar dentro del molde y se mantiene la presión durante la solidificación, ya sea por un pistón o por aire a presión. La máquina tipo émbolo, es operada hidráulicamente por las dos formas, por el pistón de metal y por el mecanismo de abertura y cierre de la matriz. En esta máquina el émbolo opera en un extremo de la pieza fundida en forma de cuello de ganso la cual está sumergida en el metal líquido. Con el émbolo en la parte superior, el metal fluye por gravedad en la pieza de fundición en forma de cuello de ganso, a través de varios agujeros justo abajo del pistón. Con un golpe en el centro, éstos agujeros son cerrados por el émbolo, y la presión se aplica sobre el metal atrapado, originando que éste sea forzado a entrar en la cavidad de la matriz. Presiones superiores a 35 MPa se usan en máquinas de este tipo, dando por resultado piezas de fundición de una estructura deseada. Tan pronto como la pieza de fundición ha solidificado, la presión es retirada, las matrices son forzadas a abrirse, y la pieza de fundición es expulsada por medio de unos pernos botadores. El bebedero es removido con el canal y la pieza de fundición.

Las máquinas que trabajan con aire tienen una pieza de cuello de ganso, operadas por un mecanismo elevador. En la posición de comienzo, la pieza fundida está sumergida en el metal líquido, llenándose por gravedad. Luego se eleva, de tal forma que la boquilla quede en contacto con la abertura de la matriz, asegurándose en esta posición. Se aplica aire comprimido con presiones que van de 0.5 a 4.0 MPa, aplicadas directamente sobre el metal, empujándolos hacia el interior de la matriz. Cuando la solidificación es casi completa, se suspende la presión del aire y la pieza en forma de cuello de ganso se baja a su posición original para recibir más metal. Las operaciones de apertura de las matrices, extracción de los corazones, y la expulsión de las piezas fundidas son las mismas que para las máquinas de tipo

### Émbolo.

Fundición en molde permanente de cámara fría.

Las piezas de fundición en matrices, de latón, aluminio y magnesio requieren presiones más altas, así como las temperaturas de fusión, y necesitan un cambio en el proceso de fusión del metal previamente descrito. Estos metales no se funden en el crisol autocontenido, porque la vida de éste sería muy corta. El procedimiento usual es el de calentar el metal en un horno auxiliar y llenarlo con cuchara hasta la cavidad del émbolo próximo a las matrices. Las máquinas que trabajan con éste método se fabrican muy resistentes, para soportar las altas presiones ejercidas por el metal al ser forzado al interior de las matrices. Las máquinas de uso general son la de émbolo en posición vertical y la otra en posición horizontal.

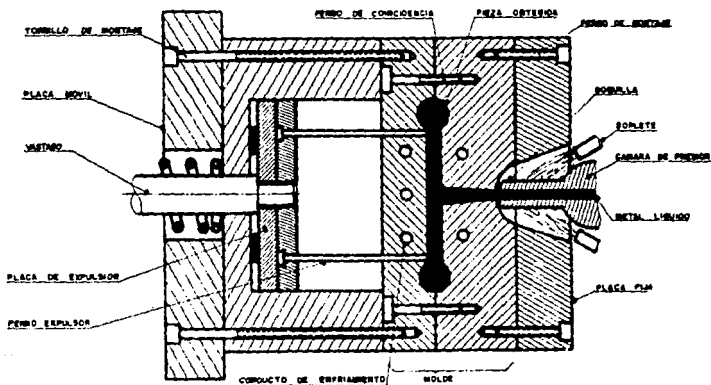


Figura 2.6. Detalle de un molde permanente empleado en el proceso de fundición por cámara caliente

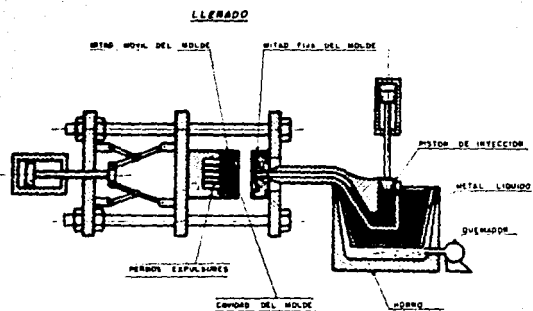


figura 2.7. Diagrama de una máquina empleada en el proceso de fundición a presión por cámara caliente



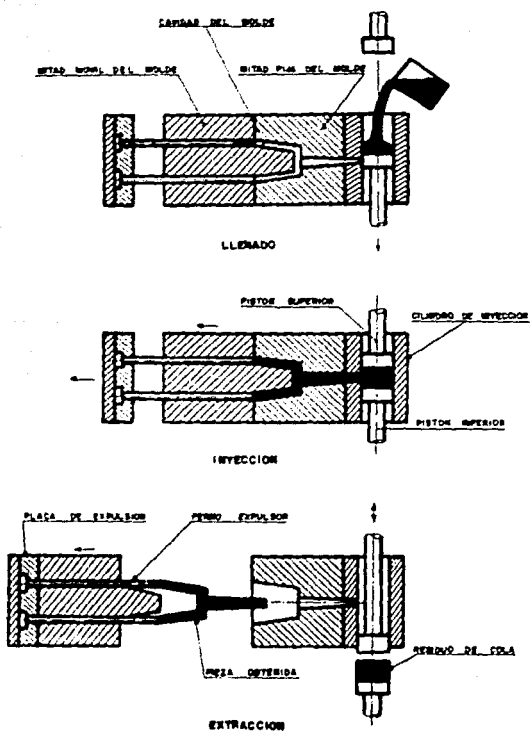
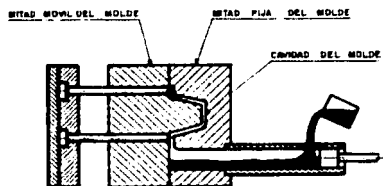
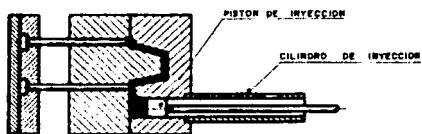


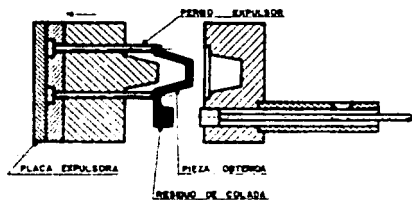
figura 2.8. Proceso de fundición a presión por cámara fría vertical



LLENADO



INYECCION



EXTRACCION

Figura 2.0. Proceso de fundición a presión por cámara fría horizontal

## CAPITULO III

### FUNDICION A PRESION

#### EL MOLDE

En base al principio de fundición el molde para la colada a presión, es un molde permanente, metálico sometido a fuertes cargas mecánicas y térmicas. Esta construido con materiales resistentes al calor, por ejemplo acero o aleaciones especiales, y básicamente constituido por dos partes; Uno de los semimoldes se ensambla sobre la placa portamoldes fija de la máquina de inyección mientras que el otro semimolde se monta sobre el portamoldes móvil. El movimiento de cierre y apertura de la máquina se transmite solamente al semimolde expulsor, que en el caso de la máquinas de inyección a presión se localiza en el semimolde móvil.

#### PARTICION DEL MOLDE

Como ya se ha dicho, la mayoría de los moldes constan de dos partes principales, llamados semimolde fijo (bebedero) y semimolde móvil (expulsor). Cuando se hace el colado en el molde, estas se mantienen acopladas por medio de la acción de la fuerza de cierre proporcionada por la máquina. La superficie de contacto de ambos semimoldes es al mismo tiempo el plano de partición, que al abrir el molde permite la extracción o expulsión de la pieza colada y solidificada. Puesto que el dispositivo va siempre montado en el semimolde móvil (expulsor) y como la placa portamoldes móvil de la máquina esté equipada con un cilindro hidráulico con accionamiento del expulsor, debe tenerse siempre la precaución de que al abrir el molde la pieza colada sea arrastrada con seguridad por el semimolde móvil (expulsor).

Para evitar la proyección del metal fundido al exterior o al vaciar, el plano de partición del molde debe tener una alta coincidencia y por tanto debe estar rectificado. Se debe ser muy exigente sobre la calidad del acoplamiento entre sí de las dos placas del molde.

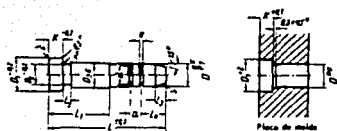
El peligro de proyección del metal fundido (colado) por la línea de partición del molde se presenta sobre todo, cuando la fuerza de reacción del molde que aparece al colar es muy grande, y supera a la fuerza de cierre producida por la máquina. Ya se sabe que en las piezas de paredes delgadas, antes de que la presión final sea completamente efectiva una parte del caldo en la cavidad del molde ya está solidificada; por tanto al aumentar la temperatura del molde y de la colada puede aparecer el peligro de proyección del material si la fuerza de reacción es ligeramente inferior a la fuerza de cierre.

Según se sabe por experiencia, es difícil el ajuste preciso de las superficies de partición inclinadas o en varios planos. Por lo tanto es mejor utilizar "piezas postizas" en esta zona y disponer además una superficie principal de partición plana.

#### GUIADO DEL MOLDE

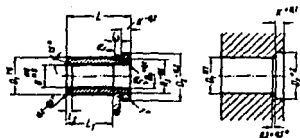
Los moldes deben estar provistos de guías para los movimientos de apertura y cierre, a fin de facilitar el ajuste preciso de ambos semimoldes. Para ello se utilizan las espigas guía, montadas en el semimolde fijo, mientras que la placa móvil del molde está equipada con los correspondientes cilindros guía.

La longitud de las guías se rigen en primer lugar por la profundidad en el molde de la pieza en cuestión; debe dimensionarse de tal forma que sea mayor que la profundidad máxima de la pieza perpendicularmente al plano de partición. Para asegurar una guía correcta del molde son necesarias como mínimo dos espigas, y comúnmente cuatro. Para longitudes grandes de guía pueden utilizarse también cilindros guía relativamente cortos, que solamente están asegurados por medio de topes. En todos los casos, debe efectuarse el montaje de espiga y cilindro guía de tal forma que no sea posible que estas piezas se desprendan o se aflojen. En las siguientes figuras se muestran las dimensiones para la fabricación de pernos y cilindros guía.



Dimensión	1	2	3	4	5	6	7
D	10	12	16	20	25	30	40
	$10 \pm 0.02$	$12 \pm 0.02$	$16 \pm 0.03$	$20 \pm 0.04$	$25 \pm 0.05$	$30 \pm 0.06$	$40 \pm 0.10$
	$10 \pm 0.02$	$12 \pm 0.02$	$16 \pm 0.03$	$20 \pm 0.04$	$25 \pm 0.05$	$30 \pm 0.06$	$40 \pm 0.10$
	$10 \pm 0.02$	$12 \pm 0.02$	$16 \pm 0.03$	$20 \pm 0.04$	$25 \pm 0.05$	$30 \pm 0.06$	$40 \pm 0.10$
	$10 \pm 0.02$	$12 \pm 0.02$	$16 \pm 0.03$	$20 \pm 0.04$	$25 \pm 0.05$	$30 \pm 0.06$	$40 \pm 0.10$
D1	10	12	16	20	25	30	40
L1	3.5	7.5	12.0	17.0	22.0	27.0	35.0
L2	8.0	12.0	16.0	20.0	25.0	30.0	37.0
L3	6	6	6	6	6	6	6
L4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
L5	3	3	3	3	3	3	3
L6	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
L7	según L. ROD		(M)	(M)	30	40	50
Ø	0.8	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0	4.0
Ø1	0.8	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0	4.0
L	J10						
	J12						
	J16						
	J20						
	J25						
	J30						
	J40						
	J50						
	J60						
	J75						
	J100						

Fig. 3.1. Dimensiones de los pernos guía.



Dimensión	1	2	3	4	5	6	7
D	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>1</sub>	57 +0.010/0	56 +0.011/0	56 +0.011/0	56 +0.011/0	56 +0.011/0	56 +0.011/0	56 +0.011/0
D <sub>2</sub>	57	56	56	56	56	56	56
D <sub>3</sub>	56 +0.010/0	56 +0.010/0	56 +0.010/0	56 +0.010/0	56 +0.010/0	56 +0.010/0	56 +0.010/0
D <sub>4</sub>	57 +0.010/0	57 +0.010/0	57 +0.010/0	57 +0.010/0	57 +0.010/0	57 +0.010/0	57 +0.010/0
D <sub>5</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>6</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>7</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>8</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>9</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>10</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>11</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>12</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>13</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>14</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>15</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>16</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>17</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>18</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>19</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>20</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>21</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>22</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>23</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>24</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>25</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>26</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>27</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>28</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>29</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>30</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>31</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>32</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>33</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>34</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>35</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>36</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>37</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>38</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>39</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>40</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>41</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>42</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>43</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>44</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>45</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>46</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>47</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>48</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>49</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>50</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>51</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>52</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>53</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>54</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>55</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>56</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>57</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>58</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>59</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>60</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>61</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>62</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>63</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>64</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>65</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>66</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>67</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>68</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>69</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>70</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>71</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>72</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>73</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>74</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>75</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>76</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>77</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>78</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>79</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>80</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>81</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>82</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>83</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>84</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>85</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>86</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>87</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>88</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>89</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>90</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>91</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>92</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>93</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>94</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>95</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>96</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>97</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>98</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>99</sub>	57	57	57	57	57	57	57
D <sub>100</sub>	57	57	57	57	57	57	57

Figura 3.2 Dimensiones de los manguitos guía

### "FABRICACION DEL MOLDE"

La fabricación del molde para fundición a presión se efectúa principalmente por arranque de viruta. Como materiales se utilizan aceros de construcción de máquinas, aceros de moldes o para trabajo en caliente y aleaciones especiales resistentes a las altas temperaturas, que se suministran con las dimensiones aproximadas que se deseen, en placas o en barras. El arranque de viruta se efectúa con máquinas herramientas convencionales y no convencionales (como electroerosión), y se exige una gran exactitud en las dimensiones de cada una de las piezas constitutivas del molde.

La base para la construcción de cualquier molde es la confección de un plano del mismo. Naturalmente el constructor debe poseer unos conocimientos básicos sobre la exigencias de la técnica de la fundición a presión.

Es importante en el taller de matricería, la fresadora

copiadora, que se utiliza para todos los trabajos de fresado según el molde. Sobre todo en moldes para piezas complicadas se recomienda efectuar el mecanizado de la cavidad del molde con ayuda de un modelo, en parte las máquinas están equipadas con dispositivos especiales, por ejemplo para el fresado cilíndrico, en plano horizontal o vertical. Las aberturas, ranuras y depresiones enmarcadas de constitución complicada pueden mecanizarse económicamente con una máquina de electroerosión.

También se utiliza en parte procedimientos de conformado sin arranque de virutas, para la construcción de moldes. De ellos el más importante que se utiliza para el conformado de cavidades de moldes profundas, es el estampado en frío en el acero del molde. Otra posibilidad es la fabricación de piezas de acero del molde de forma complicada mediante fusión en molde. Para moldear por el procedimiento a la cera perdida se precisa de un molde en el que se haya tenido en cuenta la tolerancia por contracción del acero. Como material para el molde se utiliza una masa cerámica, de la que se retira el modelo una vez fraguado el molde. Los moldes cuentan con un plano de partición de forma similar a la fundición en arena; primero son fraguados y después acoplados para colar. El procedimiento de fundición a presión o procedimiento a la cera perdida es muy indicado para la fabricación de postizos y machos para moldes de inyección, sobre todo cuando se requieren perfiles complicados, muestras decorativas muy finas o superficies de difícil geometría y sobre todo, cuando se cuenta con fabricación en serie de piezas fundidas, puesto que estas piezas constructivas pueden cambiarse siempre por las piezas de repuesto. Todas las piezas del molde pueden colarse con gran precisión por este método.

#### MATERIALES PARA MOLDES

Los moldes para fundición a presión, están sometidos a diversos esfuerzos mecánicos y térmicos.

Al mismo tiempo, el molde tiene la misión de absorber una parte de calor en cada proceso de colada y disiparlo, de forma que continuamente está sometido a calentamientos y enfriamientos, de ello resulta un elevado esfuerzo térmico de desgaste del material del molde, que poco a poco conducen a la formación de grietas

superficiales, que se reproducen en la pieza inyectada. Adicionalmente puede aparecer desgaste por la erosión causada por el chorro del metal.

La conservación o duración de un molde depende esencialmente de la correcta elección del material, es decir, de su composición, y en igual forma del tratamiento térmico y de la forma o manera que en la práctica se maneja y se cuida al molde.

Es de suponer que el molde debe mantenerse suficientemente estable, para que pueda soportar las cargas mecánicas y esfuerzos de flexión que aparecen durante el funcionamiento.

Todo molde está sometido a un desgaste por erosión. Aparece por lo menos en la zona de ataque de colada, cuya sección se va ampliando paulatinamente conforme aumenta el número de inyectadas.

Tales erosiones aparecen frecuentemente a causa de una contracorriente a la dirección de ataque de colada.

Así durante el ciclo de trabajo se produce un máximo y un mínimo de temperatura de la pared del molde. El límite inferior de temperatura influye sobre el llenado del molde, la calidad y exactitud dimensional de la pieza inyectada, la tendencia a pegarse a los moldes y la capacidad de inyección; el límite superior y el intervalo entre éste y el inferior, influyen en primer lugar sobre la duración del molde.

La duración está relacionada con la deformación plástica, que experimenta la superficie del molde dos veces en cada ciclo, aplicándose la siguiente expresión:

$$N = 1000/\epsilon_p^2$$

Donde:

N es la duración del molde, número de inyectadas que permite el molde, sin que aparezcan grietas por los cambios de temperatura que experimenta.

$\epsilon_p$  es la deformación plástica de la superficie del molde en %

Sin considerar las condiciones de funcionamiento irregulares, la deformación total que aparece dos veces en cada ciclo de colada y que se experimenta el molde, es una función de la variación de temperatura y el coeficiente de dilatación térmica.



$$\epsilon_{\text{ges}} = \alpha (T_2 - T_1)$$

Donde:

$\epsilon_{\text{ges}}$  es la deformación total en %

$\alpha$  es el coeficiente de dilatación térmica

$T_2 - T_1$  es la diferencia de temperaturas entre el valor máximo ( $T_2$ ) inmediatamente después de inyectar y el valor mínimo ( $T_1$ ) antes de inyectar.

La deformación tiene una componente plástica ( $\epsilon_p$ ) y una componente elástica ( $\epsilon_e$ )

$$\epsilon_{\text{ges}} = \epsilon_p + \epsilon_e$$

La deformación elástica puede calcularse según la siguiente relación:

$$\epsilon_e = (\sigma_1 + \sigma_2) / E$$

Donde:

$\sigma_1$  y  $\sigma_2$  son los límites de elasticidad a las temperaturas máxima y mínima respectivamente.

E es el módulo de elasticidad para una temperatura media entre  $T_1$  y  $T_2$

Operando se obtiene la duración del molde

$$N = \frac{1000}{[\alpha (T_2 - T_1) - (\sigma_1 + \sigma_2) / E]^2}$$

Pero junto con las propiedades mecánicas, deben tenerse también en cuenta las propiedades físico-térmicas del material del molde, puesto que determinarían la distribución de temperaturas en el mismo y las tensiones que aparecen como efecto de la dilatación térmica y de la contracción. Las propiedades físico-térmicas que actúan sobre la transferencia de calor no estacionario, son la conductividad térmica  $\lambda$ , el calor específico  $c$  y la densidad  $\rho$ , que se relacionan con la llamada conductividad de temperatura "a"

$$a = \frac{\lambda}{c \rho}$$

Para conseguir una gran duración del molde, el material debe tener una conductividad y el límite de dilatación térmica sumamente elevados; su módulo de elasticidad y su coeficiente de dilatación deben ser relativamente pequeños en correspondencia a las condiciones dadas. Los materiales que cumplen relativamente bien estas condiciones, se distinguen por una elevada resistencia a los cambios de temperatura.

A ellos pertenecen, en primer lugar los aceros llamados de molde, que son aceros aleados para trabajo en caliente. Los más usuales son los aceros al cromo-molibdeno, especialmente los números H11 y H13 según AISI.

Normalmente se suministran los aceros de molde en estado de recocido, pues solamente así se pueden mecanizar de una manera adecuada, es conveniente someter al acero, después de debastado, a un recocido para alivio de tensiones (600 - 650°C). Si es preciso, antes de templar se dispondrá de un recocido de alivio de tensiones.

A la pieza terminada se le deben incrementar sus propiedades, es decir ser templada y revenida. Este revenido a una temperatura determinada que permita alcanzar tenacidad y/o dureza determinada.

También existen aceros de molde tratados, de tal forma que no se requiere templar y revenir. A pesar de ello presentan una alta facilidad de maquinado, puesto que contienen un alto contenido de azufre que actúa como rompe virutas. Sin embargo, antes de pulir y de esmerilar deben eliminarse las tensiones internas originadas por el mecanizado mediante un recocido de alivio de tensiones.

El recocido deberá efectuarse a una temperatura inferior en 50 grados centígrados por lo menos a aquella en que se efectuó el revenido del tratamiento previo.

Otro procedimiento para tratar la superficie del molde es la nitruración, es decir un tratamiento con productos que proporcionan nitrógeno. La mayoría de los aceros para trabajos en caliente son fáciles para nitrurar. La profundidad de nitruración es generalmente de 0.4 a 0.5 mm pero se rebaja por lo menos a la mitad por un rectificado posterior. La nitruración se aplica principalmente en aquellas piezas sometidas a un fuerte desgaste por rozamiento, como por ejemplo cámaras de presión, guías de machos, o espigas expulsoras. La duración del molde que se puede

alcanzar depende tanto del material a colar como del espesor de las paredes de la pieza inyectada. En el caso de la fundición inyectada de zinc, estaño y plomo, los esfuerzos térmicos que se presentan son menores y se pueden alcanzar con toda seguridad duraciones de varios centenares de miles de piezas inyectadas. Al inyectar metales ligeros, el lograr 100,000 inyecciones, es más difícil de alcanzar, pero generalmente nunca se logra con piezas de paredes relativamente gruesas. Por lo tanto, no han faltado experimentos encaminados a mejorar los aceros de molde o a desarrollar un material completamente nuevo.

Finalmente, es también muy prometedor el desarrollo del acero Maraging, un acero para trabajo en caliente a base de níquel, cobalto con aproximadamente 18% Ni, 7.5 a 9.5% Co, 4.5 a 5.5% Mo y 0.2 a 0.8% Ti. Este acero adquiere sus propiedades no por el tratamiento directamente, sino por envejecimiento en caliente a una temperatura de unos 480°C en el lapso de 3 a 6 horas. A causa de éste envejecimiento se forma martensita de Fe y Ni, de aquí la designación, tomada del inglés Maraging = martensita ageing (martensita por envejecimiento). Al inyectar el metal al molde, fabricado con acero maraging se consigue una duración de hasta tres veces la alcanzada con aceros al cromo - molibdeno. Además de lo anterior éste acero es soldable.

Adicionalmente a lo anterior se ha podido conseguir aleaciones especiales con una estabilidad considerablemente superior a la de los aceros. La principal de ellas es la aleación de molibdeno TZM, compuesta por 0.5% de Ti, 0.1% Zr, 0.02% de carbono, el resto Molibdeno. La conductividad térmica de éste material es de 5 a 8 veces superior a la del acero americano H13, mientras su dilatación es solamente la mitad a temperaturas normales de inyección de las aleaciones de materiales ligeros.

La alta conductividad térmica de la aleación TZM no sólo logra una temperatura en la pared del molde considerablemente más baja, como consecuencia de la rápida disipación de calor. Sino también y por causa de su bajo coeficiente de dilatación térmica, a una extensión considerablemente menor de los movimientos de dilatación térmica que son los responsables de la formación de grietas por calentamiento. Al utilizar elementos del molde TZM se ha conseguido en la inyección de latón, duraciones de más de 50,000

inyectadas.

La aleación TZM se utiliza preferentemente para machos sometidos a fuertes esfuerzos térmicos. Además la aleación TZM no precisa de ningún tratamiento térmico; se mecaniza y se monta en el mismo estado en que se suministra. Solamente en el caso de un gran desbaste de material por fresado o por taladrado, se recomienda posteriormente someter a las piezas de TZM a un recocido de alivio de tensiones a 1150°C durante una hora aproximadamente, en baño salino o atmósfera controlada. No deben disponerse de canales de refrigeración en los elementos fabricados de TZM.

#### "TECNICA DE ATAQUE"

En el interior del molde y a través de los canales de alimentación se realiza la conducción del metal fundido a la cavidad del molde, canales que deben ser dimensionados y dispuestos de forma adecuada. Se distinguen tres partes en éste sistema de conducción, llamadas bebedero, canal de colada y el ataque de la colada propiamente dicho, a través del cual el metal fundido entra en la cavidad del molde.

En las máquinas de cámara caliente, el metal fundido se hace pasar a través de una boquilla. Según la distribución constructiva del grupo inyector, se puede trabajar con boquilla fija o con boquilla móvil.

Puesto que después de cada inyección debe romperse la unión entre el cono bebedero solidificado y el caldo todavía líquido de la boquilla, el cono bebedero, junto con el canal de colada y la pieza solidificada, permanecen en el molde; de esta forma, al abrir el molde es retenido por el semimolde móvil y expulsado conjuntamente. A fin de conseguir esta retención de forma segura, debe disponerse el cono bebedero con suficiente conicidad; por lo general y según el material a fundir, es de 2.5 a 5°.

También en las máquinas de fundición de cámara fría vertical se utilizan sistemas de bebedero semejantes. En este caso, la boquilla esta fija al grupo de inyección.

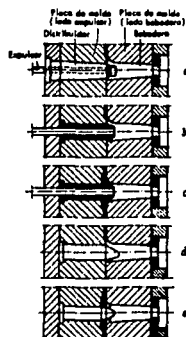


figura 3.3. ejemplos de conos distribuidores:  
 a) distribuidor con asiento cónico y expulsor.  
 b) y c) distribuidor con expulsor  
 d) distribuidor con inclinación a un lado  
 e) distribuidor con entalla posterior

En la figura anterior se han representado algunos ejemplos de conos distribuidores, tal como se utilizan en máquinas de cámara caliente o de cámara fría vertical.

Una ventaja especial de este sistema de bebedero y distribuidor consiste en que, mediante la adecuada disposición de la pieza, el bebedero puede llegar directamente al ataque sin tener que utilizar ningún canal de colada, este sistema de ataque resulta especialmente indicado cuando la pieza presenta un agujero central, con lo que el postizo necesario para formar éste agujero sirve al mismo tiempo de distribuidor. De igual forma también pueden utilizarse el sistema de bebedero central aún cuando no exista tal agujero, pero entonces es de esperar una carga relativamente elevada en la superficie de choque situada frente al cono bebedero, ya que en éste caso no se dispone de distribuidor.

En las máquinas con cámara fría horizontal, la cámara de presión se prolonga a través del semimolde fijo mediante un manguito bebedero.

Para hacer el cambio de dirección en la corriente al canal de colada ascendente no existe ningún cono distribuidor, sino

solamente un paso redondeado en dirección al canal de colada y dispuesto en la parte frontal del manguito de bebedero.

En moldes para grandes series o con carga térmica elevada, por ejemplo para inyección del latón, algunas veces hay que utilizar una cámara de presión.

En todas las piezas que no están provistas de bebedero central, se precisa de un canal de colada para la unión entre el cono bebedero o la cámara fría horizontal y el ataque de la pieza.

Este canal de colada debe conducir el metal fundido al ataque por el camino más corto y más recto posible. Deben evitarse los cambios de dirección innecesarios, a fin de que no se produzcan turbulencias adicionales en el canal de colada. Existe además la necesidad de que el metal fundido experimente un enfriamiento lo más reducido posible en el canal de colada; esto significa que la sección del canal en ningún caso debe ser demasiado plana o de pared demasiado delgada.

El canal de colada debe fresarse solamente en un semimolde, se realiza normalmente en el móvil; las paredes laterales del canal deben disponer de una suficiente salida de 5 a 15°. La sección  $S_L$  del canal debe ser del 20 a 50 % mayor que la sección  $S_a$  del ataque que se alimenta:

$$S_L = (1.2 \text{ hasta } 1.5) S_a$$

El ancho  $B$  del canal es de alrededor del 70 % mayor que su espesor  $D$ . Bajo estas condiciones, este último puede calcularse de la siguiente manera:

$$D = 0.77 \sqrt{S_L}$$

La sección más pequeña del cono del bebedero debe ser por lo menos igual, pero preferiblemente algo superior, que la sección máxima del canal.

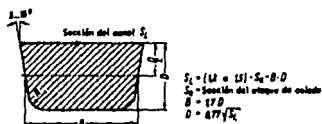


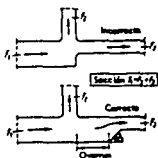
figura 2.4 Dimensiones de la sección del canal

Todo el ataque central como el exterior pueden variarse de muchas maneras. Puesto que, como ya se ha dicho, el bebedero central se dispondra preferiblemente sobre agujeros centrales de la pieza, ya que se tienen varias posibilidades según los diámetros de los agujeros.

En los moldes múltiples aparece el problema de llenado anticipado.

Según una propuesta de G. X. Diamond, también se puede solucionar el problema del llenado anticipado por una construcción específica del canal principal de colado. Como se deduce en la figura (3.5), después de la derivación de un canal debiera disponerse un recorrido recto de estabilización, también llamado "overrun", y después estrechar el canal con un ángulo determinado. Este tipo de disposición del canal de colada en moldes múltiples ha funcionado bien en la inyección de metales ligeros.

Figura 3.5 Eliminación del llenado anticipado en una derivación, por prolongación del canal principal (overrun) y estrangulamiento inclinado.



#### CALCULO DEL ATAQUE DE COLADA Y DETERMINACION DE LOS DATOS MAS IMPORTANTES DE LA MAQUINA.

Como ya se explicó anteriormente la sección  $S_a$  del canal se calcula a partir del caudal  $Q$  del metal que circula por el ataque y de la velocidad de circulación  $V_a$  en éste puntos

$$S_a = \frac{Q}{V_a}$$

El campo normal para  $V_a$  está comprendido entre 30 y 50 m/s. El caudal  $Q$  de entrada en  $\text{cm}^3/\text{s}$  se determina por el peso del metal  $G$  (peso de la pieza incluidos rebosaderos), el tiempo de colada  $t$  y el peso específico  $\gamma$  del material a colar:

$$Q = \frac{G}{\gamma t}$$

El punto de partida del cálculo de todo ataque es la determinación del tiempo de colada o de llenado del molde, que es el tiempo transcurrido entre el principio y el final de la circulación del metal a través del ataque.

El tiempo de colada se obtiene por la determinación de la velocidad del pistón de inyección durante la carrera de llenado. Sobre esta base se han efectuado series de mediciones, por ejemplo las de la Die Cast Research Foundation (E.U.).

$$t = 0.04 (w - 1) \pm 0.02$$

Donde:

t = tiempo de colada (s).

w = espesor medio de las paredes de la pieza (mm).

La ecuación es válida para espesores de 1.5 a 6.4 mm.

El caudal de entrada calculado Q, que se tomó como base para el dimensionado de la sección de ataque, depende del diámetro d del pistón de inyección y de la velocidad  $V_k$  del mismo.

$$Q = \frac{d^2 \pi}{4} V_k$$

Por ello la velocidad del pistón de inyección debe ajustarse de manera que cumpla la condición:

$$V_k = \frac{4 Q}{d^2 \pi}$$

#### PRECALENTAMIENTO DEL MOLDE

Todo molde debe ser precalentado antes de la puesta en marcha de la máquina. En ningún caso debe iniciarse la colada con un molde frío o ligeramente calentado, ya que se producirían considerables esfuerzos térmicos en la superficie del mismo que por lo regular no se pueden eliminar. Precisamente la primera colada en un molde tiene una considerable importancia sobre la futura duración del mismo.

En un molde frío o insuficientemente calentado, la suma de



todas las tensiones térmicas inducidas sobrepasa pronto el límite de carga del acero de forma que aparecen enseguida grietas finas en la superficie del molde.

La temperatura de precalentamiento debe ser aproximadamente igual a la temperatura media necesaria para el trabajo; ésto es por ejemplo unos 200°C para la fundición de zinc, estaño y plomo, de 250 a 300°C para la fundición de metales ligeros y de 300 a 350°C para la inyección de latón.

Para precalentar se utilizan algunas veces mecheros de gas, pero se ha visto que son poco adecuados, puesto que la parte delantera del molde, los pernos expulsores (botadores) y los machos delgados son fuertemente calentados por las llamas; existe el peligro de que el acero pierda tenacidad, puesto que por un recalentamiento local, éste actúa como un revenido desfavorable a temperaturas demasiado altas.

Son más indicados los calentadores por infrarrojos o los radiadores cerámicos de gas, pues permiten una distribución uniforme del calor. Los radiadores cerámicos tienen una elevada densidad de energía, lo que permite un calentamiento rápido y sin embargo beneficioso al molde.

#### REFRIGERACION DEL MOLDE.

Una parte del calor introducido en la cavidad por el metal fundido debe disiparse rápidamente del molde después de cada colada. Solamente así es posible extraer los machos y expulsar la pieza con una rigidez dada. Por lo general se cuenta con un intervalo de al menos 200°C entre la temperatura de colada y la temperatura de vaciado del molde. El calor a evacuar puede calcularse de la siguiente forma:

$$Q_n = G (c\Delta T + C)$$

Donde:

$Q_n$  = Calor a evacuar (Kcal/colada)

$G$  = Peso de la pieza fundida (Kg incluyendo canal de colada y bebedero).

$c$  = Valor medio del calor específico (Kcal/Kg°C) del material de colada, en estado sólido y fundido.

$\Delta T$  = Diferencia entre la temperatura de colada y la de vaciado ( $^{\circ}\text{C}$ )

$C$  = Calor de fusión (Kcal/Kg) del metal a colar

Si en esta ecuación se calcula el factor

$$C(\Delta T) + C = q$$

para diferentes materiales de colada tomando como base un intervalo de  $\Delta T = 200^{\circ}\text{C}$  se obtiene:

$q = 145$  Kcal/Kg por colada para aleaciones de aluminio y magnesio.

$q = 66$  Kcal/kg por colada de latón.

$q = 48$  Kcal/Kg por colada de aleaciones de zinc.

El calor a evacuar por colada es pues:

$$Q_n = q G$$

Si representamos por "n" el número de inyectadas/hora, se obtiene el calor a evacuar por hora (también llamado corriente térmica) de la siguiente forma:

$$Q = n Q_n = n q G$$

Donde:

$Q$  = Corriente térmica (Kcal/h).

$n$  = número de coladas por hora.

$Q_n$  = Calor a evacuar (Kcal/inyectada).

$q$  = Calor a evacuar (Kcal/Kg inyección).

El metal del molde solamente permite desviar una determinada cantidad de Kcal/hr.

$$Q = K F \Delta T / L$$

Donde:

$K$  = Coeficiente de conductividad térmica (Kcal/m h  $^{\circ}\text{C}$ )

$F$  = Superficie perpendicular a la corriente térmica ( $\text{cm}^2$ )

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre pared del molde en la cavidad del mismo y pared exterior.

$L$  = Espesor (m) de ambas placas del molde.

El cálculo puede ser aproximado, porque al aumentar la distancia de la cavidad del molde aumenta también la superficie perpendicular a la corriente térmica.

Los canales necesarios para la refrigeración de todo el molde deben disponerse de la forma más efectiva posible. Para postizos pequeños es suficiente algunas veces atornillar un perno de cobre, con roscas o ranuras profundas, para evacuar el calor del aire,

sin tener que refrigerar con agua.

Como refrigerante se suele utilizar agua, emulsionada con aceite para taladrar a fin de evitar el óxido. También se utiliza a veces la refrigeración por aceite. Moderadamente, se tiende cada vez más a la refrigeración automática del molde, de forma que su temperatura se mantenga a un valor determinado constante. Como refrigerante se utiliza agua, mientras que para la calefacción se utilizan resistencias eléctricas. La temperatura del molde se puede medir y controlar por termopares en dos circuitos de medición.

#### INSERTOS Y MACHOS FIJOS

Tomando en cuenta los altos esfuerzos debidos a las altas temperaturas que debe resistir el molde de inyección, al menos las piezas que componen al molde y que están en contacto con el metal fundido deben construirse en acero para trabajo en caliente o en aleaciones resistentes a las altas temperaturas. Sin embargo éstos aceros para moldes y materiales especiales son caros y en parte sólo pueden maquinarse con reducida velocidad de corte; adicionalmente éstos aceros para moldes, deben someterse a un tratamiento térmico. Por consiguiente, se debe procurar utilizar el acero para moldes y las aleaciones especiales resistentes a las altas temperaturas de la forma más económica posible, y ensamblar en el molde las piezas construidas con este material.

De esta forma, las placas de ambos portamoldes sirven de bastidor para las piezas construidas con materiales de alta resistencia térmica.

Las superficies de moldes con formas complicadas pueden construirse subdividiendo en elementos que componen al molde más pequeños; de esta forma los insertos pueden componerse de varios elementos.

Esta subdivisión facilita un fresado relativamente más sencillo de los nervios de la pieza inyectada, y las superficies de ajuste ofrecen además una salida adicional del aire del molde.

Para moldes con la línea de partición de la pieza inclinada, curvada o en varios planos, el uso de insertos ofrece una especial ventaja, puesto que de esta forma el plano de partición del

bastidor del molde puede quedar en un sólo plano.

El uso de insertos también permite influir sobre la dirección de la corriente en el canal de colada o en el del ataque, las superficies de separación de los insertos opuestos pueden presentarse inclinadas, de esta forma se consigue orientar la dirección del ataque a la dirección de la pieza inyectada y obtener una disminución en las turbulencias de circulación al efectuar la colada. Para evitar un empuje lateral de las placas del molde cuando se presentan los planos de partición inclinados, es conveniente diseñar otra inclinación igual y en sentido contrario en la pared opuesta del inserto.

Muchas veces es necesario montar en las placas del molde o en los insertos los llamados machos fijos; en sentido estricto deben considerarse como insertos y sirven para formar pequeñas perforaciones, agujeros ciegos, aberturas o cavidades en la pieza inyectada, pero al abrir el molde no debe impedir la expulsión de la pieza; en caso contrario debe utilizarse machos móviles.

Los machos fijos de pequeñas dimensiones o sobretodo los machos para agujeros, están sometidos a altos esfuerzos térmicos, lo que puede llevar a un desgaste rápido. Por consiguiente tales machos deben ser cambiados frecuentemente.

El sistema de construcción mediante insertos postizos, que se utilizan actualmente sin excepción, facilitan el cambio de las partes dañadas. Además piezas parecidas que sólo se diferencian en determinados detalles, puede emplearse el mismo molde, cambiando solamente los insertos que sean necesarios.

Por esta facilidad de intercambio también ofrece la posibilidad de construir los llamados moldes normalizados con insertos intercambiables. Por lo general se trata aquí de moldes de cavidades múltiples con dimensiones de los insertos normalizados estos últimos siempre pueden cambiarse y ser substituidos por otros para la fabricación de otra pieza.

Comúnmente tales moldes normalizados con machos intercambiables se utilizan muy poco. El bastidor de la placa de molde puede contener de 2 a 8 ó más insertos intercambiables. Aunque tales moldes normalizados presentan bastantes ventajas, tales como menor costo del molde y menor tiempo para el cambio de los insertos, tienen sin embargo algunos inconvenientes, el principal de ellos

es una cierta limitación en el sentido de la disposición constructiva del molde y de la frecuencia de inyección, por lo que el aumento del ciclo de trabajo al colar puede ejercer una desfavorable influencia sobre la calidad de la pieza inyectada, ya que el tiempo de espera entre el llenado del molde y apertura del mismo se adaptan a la pieza con el mayor tiempo de solidificación. También es difícil refrigerar uniformemente todos los insertos cambiables, y a causa de las dimensiones tan diferentes de las paredes y de la pieza inyectada puede tener lugar una distribución desequilibrada del calor entre los insertos cambiables, lo que podría llevar a una perturbación en el equilibrio térmico y a un aumento en la cantidad de piezas defectuosas.

También se presentan ciertas dificultades en el montaje de extractores de machos. Por consiguiente y por lo general, los moldes normalizados se utilizan muy poco.

La figura siguiente presenta 4 formas constructivas de la construcción de insertos para moldes y su fijación a este.

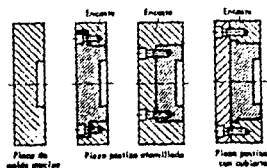


fig. 8.d. Ejemplos de formas constructivas de insertos en la placa de molde

#### EXPULSION DE LA PIEZA INYECTADA

El molde debe construirse siempre de forma que al abrir, la pieza quede retenida en el semimolde móvil. Esta condición es indispensable para lograr la expulsión de la pieza, ya que los dispositivos de expulsión sólo pueden montarse en el semimolde móvil, también llamado semimolde expulsor, está constituido por un cilindro hidráulico de accionamiento que actúa en la dirección de cierre de la máquina. Por consiguiente los moldes deben de contar con un dispositivo expulsor propio que actúe gracias al

cilindro expulsor (también llamado expulsor central), montado en el semimolde móvil de la máquina. En algunas máquinas y especialmente cuando se trata de portamoldes de grandes dimensiones, se combina el expulsor central con dos o más expulsores adicionales dispuestos a lado de éste.

El dispositivo de expulsión se montará entre la placa del molde y la placa de expulsión del semimolde móvil. La expulsión de la pieza se efectúa normalmente mediante pernos cilíndricos llamados botadores, que penetran a través de la placa del molde móvil. La siguiente figura muestra las dimensiones de los pernos cilíndricos o botadores.

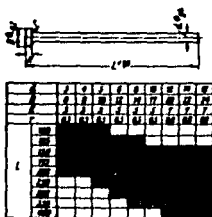


Fig. 9.7 Dimensiones de los botadores o espigas cilíndricas

Con el molde abierto el expulsor central hidráulico actúa sobre estas placas, que impulsan hacia adelante, en la dirección de cierre a los botadores; con ese movimiento, dichos botadores separan la pieza de la placa del molde. El retorno del sistema expulsor se produce automáticamente al cerrar el molde por medio de la disposición mostrada, donde los pernos de retorno empujan al dispositivo expulsor a su posición original, es muy importante una limitación de la carrera por medio del mismo perno de retorno, contando con un disco frontal de tope. Antes de cerrar el molde debe retroceder también el expulsor central; esto se produce de forma automática durante el movimiento de cierre del molde.

Normalmente, los botadores deben de colocarse preferentemente sobre zonas de la pieza inyectada que cuenten con gran espesor, a

fin de evitar deformaciones. El diámetro de los botadores deben de ser de 6 a 12 mm. (fig 3.7) Los botadores deben ajustarse exactamente a la placa del molde. Para evitar fugas de metal líquido, la guía de las espigas debe tener un juego de 0.03 a 0.05 mm; por el contrario, en máquinas de funcionamiento completamente automático es usual un juego superior, de 0.05 a 0.08 mm. La guía del botador en la placa del molde, utilizada como aislante de ajuste, debe tener una longitud de 10 a 30 mm, pero como mínimo de 10 mm o 1.5 veces el diámetro del botador.

De ésta forma existe la suficiente seguridad de que la pieza no será retenida por el semimolde fijo; en caso dado, puede utilizarse para ello un botador que actúe sobre el canal de colada. La ranura debe estar situada en la parte inferior del botador, a fin de que al expulsar la pieza pueda caer. La inclinación de la ranura es de unos 30° y su profundidad de unos 3 mm.

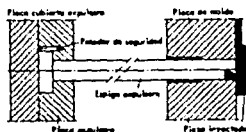


fig 3.8 Botador expulsor con ranura en el extremo para retener la pieza inyectada al abrir el molde

La expulsión completa de la pieza se efectúa generalmente sólo cuando existe funcionamiento automático de la inyección, pero debe tenerse la suficiente seguridad de que la pieza no se dañará ni se deformará. Para piezas muy grandes se utiliza una mesa basculante, sobre la que cae la pieza, al ser expulsada. Existen además aparatos recogedores automáticos, que toman la pieza desprendida con un dispositivo de sujeción, la retiran del molde y la depositan en el lugar correspondiente.

Algunas veces las piezas inyectadas pueden ser de paredes muy delgadas, en las que se podría causar deformaciones debidas a la presión de los botadores normales.

Los moldes con separadores no sólo resultan indicados para piezas de paredes delgadas y fáciles de deformar, sino también, en aquellos casos en que se debe impedir la marca del botador sobre la pieza.

La expulsión, desprendimiento o separación de una pieza inyectada, requiere siempre una fuerza mayor que las fuerzas de contracción generadas. Puesto que las piezas inyectadas se contraen en primer lugar alrededor de los insertos interiores y machos fijos, es conveniente aplicar la fuerza de expulsión lo más cerca posible de éstos insertos.

En ocasiones puede suceder que la fuerza de expulsión proporcionada por la máquina no sea suficiente para desprender, expulsar o separar la pieza inyectada, como por ejemplo en piezas con un número grande de machos fijos, en las que hay que superar elevadas fuerzas de contracción. En tales casos se recomienda el montaje directo de un cilindro expulsor en el molde con las dimensiones adecuadas para que pueda conectarse al mando de un extractor de machos no utilizado o una bomba separadora.

Cuando se trata de funcionamiento totalmente automático, la pieza debe de ser expelida fuera del molde. Para ello se utiliza una expulsión de dos etapas, algunas veces también llamada expulsión rápida.

Otra posibilidad consiste en utilizar dos sistemas de expulsión separados. Sin embargo, tales dispositivos son bastante caros y requieren mucho espacio para su montaje.

#### MACHOS MOVILES

Para formar perforaciones, rebajes, aberturas, superficies resaltadas, nervios o aletas que no interfieran en la dirección de cierre del molde se necesitan machos móviles. Pueden estar dispuestos tanto en el semimolde fijo como en el móvil, en el primer caso, deben retirarse al concluir la colada y antes de abrir el molde, a fin de que la pieza inyectada pueda ser retenida en el semimolde expulsor al abrir el molde. Los machos móviles montados en el semimolde móvil, según las necesidades de la pieza inyectada de que se trate, se retirarán antes, durante o después de la apertura del molde, pero siempre antes de la expulsión.



Por consiguiente los machos móviles deben introducirse en el molde antes de inyectar y retirarse después de la inyección, es decir, extraerse de la pieza inyectada. Para ello se utilizan dispositivos de extracción de machos accionados mecánica o hidráulicamente.

Es aconsejable la inclusión de una placa de guía con casquillos cuando existen carreras largas.

Normalmente los movimientos de los machos son rectilíneos, sin embargo, resulta ocasionalmente necesario emplear movimientos de machos circulares.

#### INYECCION COMPUESTA O COMPOUND

Sucede a veces, en el ámbito de la fundición por inyección, que deben incluirse en la pieza inyectada piezas con insertos tales como manquitos roscados, pernos, camisas en lámina de acero, tubos, paquetes de rotor y otras piezas. También se incorporan insertos tan diversos como tirantes, casquillos de cojinetes, piezas roscadas y otros elementos de unión, con la finalidad de ahorrar trabajo de acabado y para mejorar la capacidad de carga de otras piezas.

Al igual que en el caso de las piezas sueltas, los insertos deben fijarse y retenerse en el molde. Es de vital importancia que el inserto permanezca inmóvil durante el llenado del molde, por lo que en caso necesario, se utilizarán pasadores de sujeción para apoyarlo en el mismo.

Es muy frecuente inyectar casquillos de cojinete y cilindros roscados.

Los insertos deben estar suficientemente anclados en las piezas inyectadas. Otra posibilidad de anclaje es la aportación de estrías, ranuras o fresados planos.

Los insertos delgados, como forro de planchas o similares, deben asegurarse también contra su levantamiento durante la colada.

Con un llenado progresivo del molde se comprimirá con más seguridad la pieza en la cavidad del molde. Un perno expulsor que esta concéntricamente a éste postizo, facilita la expulsión de la pieza. También se utilizan insertos a base de vidrio o

cerámica. Por ejemplo, hace unos años se ha iniciado en Francia un interesante desarrollo, que se refiere a la fabricación de aislantes para líneas eléctricas aéreas por inyección de zinc con cuerpos de vidrio incorporados.

#### EVACUACION DEL AIRE DEL MOLDE

Es sabido que la calidad de la pieza fundida depende en gran medida de la técnica del ataque. El sistema bebedero - canal y colada - ataque elegido determina la dirección de la corriente principal del metal fundido en el interior de la cavidad del molde. Si la disposición del canal de colada y el ataque no es favorable puede aparecer una considerable turbulencia en la corriente de llenado, lo que tendría como consecuencia una disminución de la calidad de la pieza.

Una evidente solución a este problema la ofrece la utilización de un equipo de inyección al vacío, que sin duda facilita la evacuación segura del aire de la cavidad del molde, pero que por otra parte precisa de un mayor gasto, que por razones económicas sólo será aceptable en casos especiales, en tanto que la mayoría de las veces puede obtenerse una evacuación satisfactoria del aire por medios más simples.

Sin embargo, puede resultar útil disponer canales planos de aereación en el plano de partición, desde la cavidad del molde hasta el borde exterior, en ningún caso la profundidad de éstos canales deben ser superior a 0.1 mm, a fin de que no pueda penetrar metal fundido en ellos.

Puesto que los moldes se construyen siempre con insertos y muchas veces con machos fijos, las superficies de ajuste y la partición de estos elementos posibilitan una conducción del aire y de los gases de colada fuera de la cavidad del molde.

También los botadores, que se montan con un juego no mayor de 0.03 mm, actúan como evacuadores del aire. Los machos móviles precisan de un mayor juego, en el campo de 0.05 a 0.10 mm, que también influyen en la eliminación del aire. La necesidad de eliminar el aire del molde exige construir siempre los moldes utilizando suficientes insertos y machos fijos, ya que sus superficies de ajuste participan en forma muy útil en la evacuación del aire.

Puesto que las posibilidades de eliminación del aire citadas, sirven exclusivamente para evacuar a éste del molde impulsado por el metal fundido y para evitar la formación de una contrapresión neumática en la cavidad del molde, deben tomarse también medidas para apartar el aire que siempre se encuentra incluido en la corriente del metal.

Puesto que, sobretodo, la corriente inicial de llenado es muy turbulenta y tiende en gran manera a borboteos del aire, a la formación de espuma y a la eliminación del elemento separador, deben disponerse los rebosaderos, allí donde la corriente de llenado choca por primera vez con la pared del molde; este metal revuelto con aire, óxido y restos del separador es acumulado en el rebosadero y separado así de la cavidad del molde. Para ello se utilizan rebosaderos, que consisten en pequeños fresados en la placa del molde, cerca del borde de la cavidad de este, que están unidos a la pieza por medio de un canal delgado. De esta forma, el metal fluye desde la cavidad del molde al rebosadero. Es recomendable de todas formas, disponer de canales de aereación desde los rebosaderos hasta el borde exterior del molde.

Quando se trata de piezas de paredes muy delgadas, los rebosaderos pueden servir también para mantener en movimiento en la cavidad del molde el flujo de llenado y evitar así una solidificación anticipada del metal en la zona de la pieza con paredes especialmente delgadas. Por esta razón y según dicta la experiencia, es mejor utilizar varios rebosaderos pequeños, situados uno junto al otro y separados entre sí, que un sólo rebosadero común de mayores dimensiones.

Por otra parte es también usual unir los rebosaderos entre sí con listones, a fin de conseguir una mayor rigidez y estabilidad de la pieza completa durante la expulsión; esto se aplica sobre todo cuando se trata de un funcionamiento automático y semiautomático.

La acción expulsora de los rebosaderos se puede mejorar con el montaje de un botador. De esta forma existe suficiente seguridad de que no quedara aire encerrado en el rebosadero y, por tanto, no sera comprimido.

Como ya se ha dicho, los expulsores tienen una buena acción de evacuación del aire.

#### LUBRICANTE DEL MOLDE Y DEL PISTON DE INYECCION

La lubricación del molde tiene la misión de evitar que la pieza inyectada se pegue a la pared del molde y además, disminuir el rozamiento de los elementos deslizantes de éste. Para tal fin, se rocía el separador sobre la superficie del molde. Los separadores, como su nombre lo indica, deben evitar en primer lugar que la pieza inyectada se pegue al molde, es decir debe facilitar la separación segura de la pieza al efectuarse la expulsión; pero además, debe disponer de una suficiente capacidad de lubricación para evitar la adherencia de las partes móviles, como por ejemplo, machos y botadores. Por otra parte, el empleo de separadores no debe estar ligado a ninguna formación de residuos en la superficie del molde, y el desprendimiento de gases durante la inyección debe ser tan reducido como sea posible. Además, el separador debe ser inerte y libre de componentes que reaccionen con el metal líquido, que pudieran influir desfavorablemente en un posterior tratamiento de la superficie de la pieza.

Por tanto, los separadores sirven en primer lugar para obtener piezas inyectadas con superficies limpias. Desde el punto de vista de su composición, se distinguen entre separadores pigmentados, con pigmentación reducida y sin pigmentación. Como pigmentos se utilizan sobretudo grafito y polvo metálico, así como productos especiales de color claro. Los separadores se utilizan en forma pastosa y en forma fluida. Como vehículo de suspensión se utilizan hidrocarburos (aceites), y últimamente agua. Los separadores solubles en agua se pueden utilizar para la inyección de aluminio y zinc, siempre deben ser aplicados por rociado. Por lo general, sólo se suele aplicar a mano cuando se requiere lubricar ocasionalmente elementos del molde difícilmente accesibles, por ejemplo botadores, placas tope o pernos guía.

Otro punto importante es la lubricación del pistón de inyección. Por lo general se utilizan para ello lubricantes pastosos, que todavía se aplican con pincel. La lubricación del pistón por pulverización puede utilizarse en máquinas de cámara fría horizontal y vertical.

#### MANTENIMIENTO DEL MOLDE.

Para alcanzar la duración óptima, los moldes precisan de un mantenimiento cuidadoso y un tratamiento técnicamente correcto. Los daños prematuros son casi sin excepción, la consecuencia de un tratamiento defectuoso del acero al construir el molde o al ponerlo en funcionamiento.

Si es una condición indispensable debe utilizarse un material realmente bueno y eficaz para el molde y efectuar el tratamiento térmico necesario en forma correcta.

Al mantenimiento del molde pertenece también el precalentamiento antes de la puesta en marcha y la conservación de una temperatura conveniente del molde.

En el funcionamiento continuo debe cuidarse que la temperatura del molde se mantenga lo más constante posible dentro de los límites admisibles y para ello es indispensable una adecuada refrigeración del molde en la secuencia de inyección.

El servicio y mantenimiento se limitan en primer lugar a la limpieza de las superficies del molde y a la separación de los restos de metal; para ello se utiliza preferentemente el pulido por chorro a presión.

Los moldes que deban guardarse en el almacén, deben estar recubiertos de aceite o de un protector contra la oxidación; ésto resulta especialmente importante para aquellos moldes en los que se trabaja con un separador soluble en agua.

## CAPITULO IV

### LA FUNDICION EN MOLDE PERMANENTE LLENADO POR GRAVEDAD

La fundición en molde permanente metálico, se define como el proceso que utiliza un molde de material metálico que consta de dos o más partes y que es utilizado repetidamente para la producción de muchas fundiciones de la misma forma.

El metal líquido entra al molde por gravedad, (El proceso, sin embargo no incluye el vaciado de lingotes en moldes metálicos). Los corazones simples generalmente son hechos de metal, pero si es necesario el uso de corazones más complicados, éstos son hechos de arena o yeso. Cuando se usa corazones de arena o yeso el proceso se llama fundición en molde semipermanente.

Comparada con la fundición en arena, la fundición en molde permanente, es apropiada para elevados volúmenes de producción de fundiciones pequeñas y simples. Las fundiciones simples deben tener un espesor de pared uniforme y los corazones no deben tener cortes internos o muy complejos. El proceso sólo puede ser usado para producir fundiciones moderadamente complejas. De cualquier forma la cantidad de producción debe ser bastante alta como para justificar el costo del molde. Además permite la producción de fundiciones más uniformes con tolerancias dimensionales más cerradas, una superficie más fina y mejores propiedades mecánicas.

La fundición en molde permanente tiene las siguientes limitantes:

- a).- Aunque el tamaño máximo no está establecido, éste proceso es más práctico para la producción de piezas pequeñas.
- b).- No todas las aleaciones pueden ser usadas para el proceso de fundición en molde permanente.
- c).- El proceso puede ser muy caro para bajas producciones.
- d).- Algunas formas no pueden ser hechos por el proceso porque la localización de la línea de partición no está en un sólo plano, y la gran dificultad para la extracción de la pieza del molde.

## METALES EMPLEADOS

Los metales que generalmente son usados en la fundición en molde permanente son: Aleaciones de Aluminio, Magnesio, Zinc, así como aleaciones de Cobre y Hierro gris hipereutético.

**Aleaciones de aluminio:** Estas aleaciones son de baja densidad, lo cual combinado con las características de formación de capa de óxido hacen que fluya lentamente.

Como la contracción de las aleaciones de aluminio durante la solidificación es grande, debe de existir una reserva de metal líquido (rebosadero) que alimente la pieza durante la solidificación.

**Aleaciones de Magnesio:** Estas son más difíciles de fundir que las aleaciones de aluminio, y tienen bajas características de fluidez para el llenado de moldes de paredes delgadas. Además las fundiciones son muy sensibles a calentamientos cortos (fragilidad a temperaturas altas) comparadas con las fundiciones de aluminio. Se requieren grandes radios de filetes (curvatura) cuando la fundición tiene grandes bordes o cambios de sección. Los detalles de las piezas fundidas no pueden ser obtenidos en una forma clara, y la fundición que se contrae dentro del molde es susceptible a quebrarse, lo cual debe evitarse.

**Aleaciones de cobre:** Solidifican a altas temperaturas y algunas tienen intervalos cortos de solidificación. Estas solidifican tan rápidamente que deben ser expulsadas lo más pronto posible, para evitar que se contraigan en corazones y otras partes del molde.

**Aleaciones de zinc:** Estas pueden ser usadas para fundición en moldes permanentes, pero en caso de grandes cantidades de producción, es conveniente utilizar la fundición a presión.

**Hierro gris:** Es utilizado exitosamente en altos volúmenes de producción de fundiciones pequeñas y simples (30 gr hasta 15 kg). Sin embargo, piezas más complejas con corazones internos y cambios de sección muy marcados, también han sido obtenidas exitosamente por el proceso de molde permanente.

Las siguientes tablas nos muestran los componentes de las aleaciones de aluminio y aleaciones de zinc más comerciales.

#### Aleaciones de aluminio

Designación						
ASTM	SC94A	S12A	SC114A	SC100A	08A	55C
Comercial	A890	A12	384	A800	212	43
Composición, % en peso						
Cobre	2.0-4.0	1.0	2.0-4.5	1.0	0.25	0.0
Hierro máximo	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.0
Silicio	7.5-9.5	11-12	10.5-12.0	9-10	0.25	4.5-6.0
Manganeso máximo	0.50	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25
Magnesio	0.10max	0.10max	0.10	0.40-0.60	7.5-8.5	0.10
Zinc máximo	2.00	0.50	2.00	0.50	0.15	0.50
Total máximo de níquel, estánd.	1.25	0.90	1.25	0.90	0.55	0.90
Aluminio	Resto	Resto	Resto	Resto	Resto	Resto

#### Comentarios específicos.

SC94A Aleación estándar, propósitos generales. La más utilizada

S12B Aleación estándar. Se emplea comúnmente para aplicaciones sujetas a presión

#### Aleaciones especiales.

SC114A Comparable a la SC94A, pero vacía y maquina mejor

Buena combinación de resistencia a la tensión y corrosión

SC100A Buena para aplicaciones a presión. Es menos variable que S12B

08A Soporta y mantiene un alto pulido. Excelente resistencia a la corrosión, maquinabilidad, resistencia a la tensión ductilidad

55C Mejor para trabajo de formado ligero y recalado en operación de ensamble. Dúctil pero difícil de vaciar

#### Aleaciones de zinc

Designación			
ASTM	A040A	A041A	
Comercial	No. 2	No. 5	No. 7
Composición, % en peso			
Cobre	0.25max	0.75-1.25	0.25max
Aluminio	2.5-4.2	2.50-4.20	2.50-4.20
Magnesio	0.02-0.05	0.02-0.02	0.005-0.02
Hierro	0.10	0.10	0.075
Total de plomo cadmio	0.012	0.012	0.005
Zinc	Resto	Resto	Resto



#### Comentarios adicionales

- AG40A** El más utilizado. Mejor estabilidad dimensional. Buenas Propiedades en el añejamiento
- AG41A** Comparado en el AG40A, es ligeramente mejor en resistencia a la corrosión superficial cuando no tiene recubrimiento y tiene mayor dureza. No es adecuado para uso continuo a la alta temperatura debido a que su resistencia al impacto baja rápidamente

#### TAMAÑO MÁXIMO DE LAS FUNDICIONES

Los tamaños prácticos de fundiciones en molde permanente están limitados por el costo. El tamaño máximo que puede ser obtenido por fundición, varía para cada una de las aleaciones.

**Aleaciones de aluminio:** En producciones elevadas de fundiciones en molde permanente cuyo peso es mayor a 15 kg y que son hechas de aleaciones de aluminio se utilizan máquinas de fundición. Sin embargo, pueden producirse fundiciones más grandes, por ejemplo, una fundición de aleación de aluminio de diseño relativamente simple con un peso total 355 kg (780 lb) fue producido en un molde permanente de tres secciones con línea de partición vertical. El molde fabricado de hierro gris, tuvo dimensiones exteriores 2.75 x 2.75 x 2.75 mts (9.9x9 ft) cuyo peso fué de 25 ton. Las fundiciones con coladas y rebosaderos pesaron 500 kg (1100 lb) cada una. El tiempo de vaciado para cada fundición fue de 12 minutos. Después de vaciado, las fundiciones fueron dejadas en el molde durante 20 minutos antes de ser extraídas.

**Aleaciones de magnesio:** A pesar de la menor facilidad para fundir, pueden obtenerse fundiciones grandes y complejas en moldes permanentes o semipermanentes.

**Aleaciones de cobre:** Fundiciones en molde permanentes mayores de 9 kg (20 lb), raramente pueden justificarse por éste método.

**Hierro gris:** Producir fundiciones de hierro gris en moldes permanentes es poco práctico cuando éstas pesan más de 14 kg (30 lb). Una razón es que el molde es más grande que el espacio útil de las máquinas disponibles, éste tiene usualmente las dimensiones de 0.45x0.50x0.15 mts (18x20x6 pulg). Además, el ciclo es más lento con un tiempo de 7 a 8 min. Estos límites de tiempo de solidificación, limita el tamaño y peso de las fundiciones que pueden ser producidas.

Otra limitación sobre el tamaño máximo de la fundición de hierro gris es el costo del molde. Generalmente, el costo del molde no debe ser mayor del 10 % del precio de venta de la fundición. Si el costo del molde excede el 10 %, la producción debe de considerarse por otro método alternativo.

Tabla 4.1

Proceso	Tamaño		Espesor de pared o sección	
	Max	Min	Max	Min
Fundición en molde permanente	0.5-225 Kg	0.1 kg	50 Kg	Acero 4.76 Al 2.38-3.18 Mg 3.96; Cu 2.38-7.94 Kg

#### MAQUINAS DE FUNDICION

Las máquinas de fundición en molde permanente de operación manual, pueden consistir de un simple molde dispuesto en forma de libro (Tipo libro), como el que se muestra en la figura 4.1, ó para fundiciones con grandes nervaduras o paredes que requiere de retracción del molde sin una rotación, puede usarse la máquina que se muestra en la fig.4.2 (Tipo prensa). Con cualquiera de los 2 tipos de máquina, después que la pieza ha solidificado el molde es separado al aflojar o saltar manualmente las mordazas excéntricas que cierran el molde.

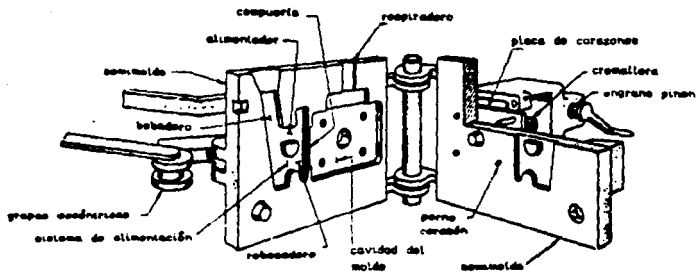


figura 4.1. Máquina "tipo libro" de operación manual

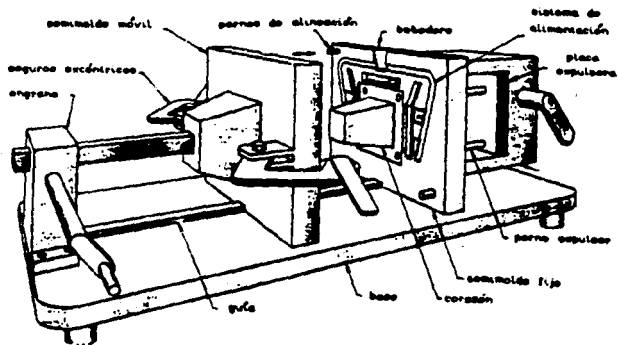


figura 4.2. Máquina "tipo prase"

Máquinas automáticas: Para grandes volúmenes de producción, las operaciones manuales son substituidas por dos o más mecanismos hidráulicos, que pueden ser programados para abrir y cerrar en un ciclo preestablecido. Entonces, exceptuando el vaciado del metal fundido, y la extracción de la pieza, la operación es automática.

Se ha desarrollado un método de fundición en molde permanente en el cual el vaciado no es manual, éste proceso es llamado "proceso Messel" cuyo equipo se muestra en la figura 4.3. En este método el molde es montado sobre rieles en la cara lateral de un horno de reberbero inclinable. Cuando el horno es inclinado sobre un eje cercano al centro de gravedad, el metal fluye a través de un orificio de colada en la pared del horno hacia el molde. El juego de piezas (horno y molde) permanecen inclinados un intervalo de tiempo predeterminado, y luego son regresados a la posición inicial por medio de un cilindro hidráulico.

Los moldes son divididos verticalmente, paralelos a la dirección del flujo de metal. Una mitad del molde desliza sobre unos rieles, la otra mitad está sujeta por bisagras y gira hacia afuera de los rieles, entonces se extrae la pieza fundida y el bebedero, y posteriormente se limpia el orificio de colada para el siguiente ciclo. La manipulación de corazones y la extracción de la pieza fundida es igual que en la fundición convencional. El metal es alimentado a la cámara del horno a través de una puerta de carga en la parte trasera.

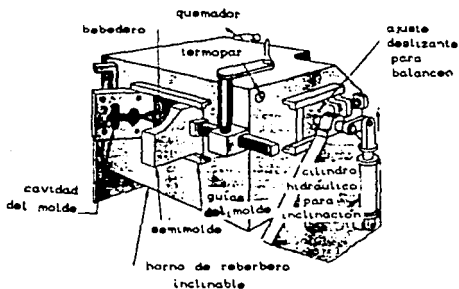


Figura 4.3. Componentes esenciales de una máquina de fundición utilizada en el proceso Messel

El proceso Wessel es el más adecuado para fundiciones de pequeño y mediano tamaño. Esto se presta fácilmente para una solidificación progresiva y da por resultado una baja relación de alimentación de carga contra el peso de la fundición. Las desventajas del proceso Wessel son: dificultades mecánicas en el soporte y sujeción de moldes grandes y una reducida flexibilidad en la alimentación del metal.

Máquinas con partición horizontal: La partición del molde para las máquinas mostradas en las fig. anteriores, están en el plano vertical, la cual es la posición preferida para la apertura de los moldes y extracción de la fundición. Sin embargo alguna fundiciones se vacian mejor en moldes con separación en el plano horizontal. La mayor parte de las máquinas con separación horizontal están provistas de un mecanismo de inclinación, que permite el vaciado en el molde en la posición horizontal, y luego gira el molde a la posición vertical para extraer la fundición.

Algunas fundiciones son parcialmente vaciadas con la partición en el plano horizontal y luego se giran lentamente hasta que el vaciado o colado es completado. Por ejemplo en una fundición de un marco para máquina copiadora, el vaciado con el plano de partición en el plano vertical requiere de una alta caída de metal fundido, que tiene como resultado salpicaduras, y severa turbulencia que produce piezas defectuosas. Para eliminar la gran caída de metal fundido se utiliza un molde inclinable que permite que el metal se introduzca en el molde con partición horizontal. El cuerpo principal de la fundición fue vaciado con el molde en esta posición. Las secciones más delgadas de la pieza fueron lentamente llenados cuando el molde fue girado 90° para colocar la partición en la posición vertical.

Revolveres: Las fundiciones pequeñas y ligeras pueden ser coladas y extraídas manualmente, pero conforme aumenta la temperatura de colada y el peso de la fundición, aumenta la dificultad para el manejo manual. Entonces el proceso de fundición debe ser automatizado mediante el uso de máquinas de fundición montadas sobre un revolver.

Un revolver comúnmente usado es el que tiene dispuestos 12

moldes, (como el mostrado en la fig 4.4) y completa una revolución en un tiempo de 2 a 7 minutos. Los pasos en el proceso de fundición, en el cual se incluye el vaciado, recubrimiento del molde, colocación de corazones, solidificación y extracción, son completadas progresivamente en la forma en que la máquina pasa a través de diferentes estaciones de trabajo.

Con éste tipo de equipo, y cuando los 12 moldes tienen la misma cavidad puede obtenerse la producción máxima, aunque muchas veces pueden usarse diferentes moldes.

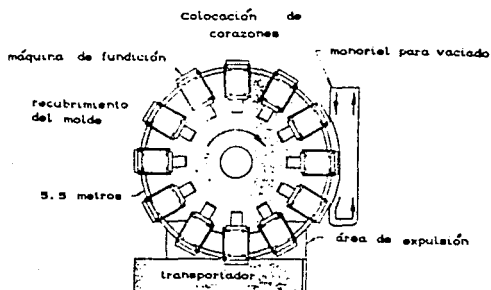


Figura 4.4. Vista esquemática en planta de una máquina "revolver" utilizada en fundición en molde permanente

#### CORAZONES

Los corazones usados en el proceso de moldes permanentes deben ser de hierro gris, acero, arena o yeso. Los corazones de metal deben de ser fijos o removibles. Los corazones fijos deben de ser perpendiculares a la línea de partición, para que pueda ser extraída la fundición del molde, y de éste modo liberar el molde de la fundición. Cuando los corazones de arena o yeso son utilizados en el molde permanente, entonces el proceso es llamado como proceso en molde semipermanente.

Tabla 4.2

Ángulos de salida típicos para agujeros formados por corazones de acero

dimensiones del agujero mm.		Ángulo de salida
diámetro	prof. máxima	
6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	10°
12.7 (1/2")	25.4 (1")	5°
25.4 (1")	50.8 (2")	3°
50.8 (2")	101.6 (4")	2°
101.6 (4")	203.2 (8")	1°

Valores típicos que son aplicables a metales no ferrosos colados en moldes permanentes.

#### SELECCION DE MATERIALES PARA MOLDES Y CORAZONES

Los cuatro factores principales que afectan la selección de materiales para moldes permanentes y corazones son:

- La temperatura de colada del metal que va a ser fundido, ya que ésta determina la cantidad de calor que debe ser extraído del molde.
- El tamaño de la fundición
- El número de fundiciones por molde, el cual limita la selección de materiales.
- Costo de material del molde

Estas variables son básicas para la recomendación de la selección de materiales. Como se ve en las tablas 4.3, 4.4, 4.5, el hierro gris es el material más comúnmente usado. Los moldes de aluminio o grafito se usan algunas veces para la producción de pequeñas cantidades de fundiciones de aluminio y magnesio.

Tabla 4.3

Materiales Recomendados Para Moldes Permanentes

Aleación	Número de Coladas		
	1000	10,000	100,000
para fundiciones pequeñas (max 25mm(1"))			
Zinc	Hierro gris; Acero 1020	Hierro gris; Acero 1020	Hierro gris; Acero 1020
Al, Mg	Hierro gris; Acero 1020	Hierro gris; Acero 1020	Hierro gris con insertos de Hst. Acero 1020
Cobre	Hierro gris	Hierro gris	Hierro gris
Hierro gris	Hierro gris(a)	Hierro gris(a)	( Cantidad no colada )
para partes de fundiciones de tamaño medio y grande (hasta 30")			
Zinc	Hierro gris; Acero Hst(b)	Hierro gris; Acero Hst(b)	Hierro gris; Acero Hst(b)
Al, Mg	Hierro gris;	Hierro gris;	Hierro gris; Acero Hst,Hst(c)
Cobre	Hierro gris	Hierro gris	Hierro gris(d)
Hierro gris	Hierro gris(a)	Hierro gris(a)	Cantidad no colada

(a) Misma composición que la que va a ser colada. (b) Hst se usa donde sea requerido partes pulidas de tamaño medio. (c) para partes de tamaño medio, para partes grandes se recomienda Hierro gris con insertos de Hst. (d) Recomendado para partes de tamaño medio. partes grandes no han sido coladas en esta cantidad.

Tabla 4.4

Materiales recomendados para corazones pequeños (menores de 76mm (3") por 254 mm (10") de longitud.)

Aleación	Materiales recomendados
Zinc	Arena; Yeso; Hierro gris; Acero 1020
Al, Mg	Acero 1010, 1020; Arena; Yeso; Acero Hst o equivalente(b).
Cobre	Arena; Acero 1020; Hierro gris; Yeso(d); grafito(c).
Hierro gris	Arena; grafito; Hierro gris

(a) Los materiales son listados en orden descendiente de preferencia. (b) Dureza rockwell C de 42 a 45. (c) Para uso en muy pocas coladas. (d) para fundiciones de bronce al aluminio.



Tabla 4.5

Materiales para corazones grandes (de más de 70mm (3") de diámetro por 250mm (10") de largo.

Aleación	Numero de coladas		
	1000	1,0000	100,000
Zinc	Hierro gris; Acero 1020	Hierro gris; Acero 1020	Hierro gris; Acero 1020
Al, Mg	Hierro gris(a); con insertos de Acero 1020;arena Yeso(a)	Hierro gris(a); con insertos de Acero H11;arena Yeso(a)	Hierro gris(a); con insertos de H11; Acero H11
Cobre	Arena	Arena	Cantidad no colada
Hierro gris	Arena; grafito Hierro gris	Arena;grafito Hierro gris	Cantidad no colada

Nota: Los materiales son listados en orden descendiente de preferencia.

(a) excepto para aberturas con formas complejas, las cuales requieren el uso de corazones expandibles de arena.

#### VIDA DEL MOLDE

La vida del molde puede variar desde unas 100 fundiciones hasta 250 000 fundiciones (o poco más) dependiendo de las variables que se discutirán más adelante.

Con reparaciones frecuentes y reacondicionamientos un molde puede producir aproximadamente 3.5 millones de fundiciones antes de ser totalmente eliminado.

En fundiciones de aleaciones de magnesio, es probable que la vida del molde sea más larga para producir fundiciones de tamaño y forma similar que las de aleaciones de aluminio, a causa de que el magnesio fundido no ataca los moldes de metal ferroso. Sin embargo, la diferencia en la vida del molde para aleaciones de magnesio dependen en mayor importancia de la efectividad de recubrimiento usado en el molde.

En fundiciones de hierro gris, se espera que la vida del molde sea menor comparada con fundiciones de formas similares en aleaciones de aluminio. Datos sobre la vida del molde para producción de 17 diferentes fundiciones de hierro gris en moldes de hierro gris son mostradas en la figura 4.5. Estos datos demuestran la influencia del peso y complejidad de la fundición

sobre la vida del molde.

Fundiciones de hierro gris, vaciadas en moldes de hierro gris

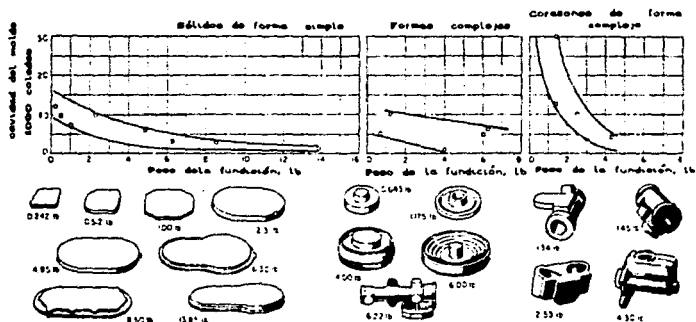


Fig. 4.3. Efectos que tiene la complejidad y el peso de una fundición sobre la vida de moldes de hierro gris de 1" de espesor usados para fundiciones de hierro gris

Las variables más importantes que afectan la vida de los moldes permanentes son:

- 1.- "Temperatura de colada". La temperatura a la cual el metal fundido es vaciado, la temperatura a la cual el molde es operado, ya que si no son las adecuadas conducen a un rápido debilitamiento del molde.
- 2.- "Peso de la fundición". La vida del molde disminuye conforme se incrementa el peso de la fundición. Ver figura 4.3
- 3.- "Forma de la fundición". Las paredes del molde son las que requieren una mayor disipación de calor en fundiciones que tienen secciones gruesas, que las que tienen secciones delgadas. Cuando

la sección de pared tiene una significativa variación en el espesor de la sección de una fundición, se establece una diferencia de temperaturas entre diferentes porciones del molde. En tanto esta diferencia de temperaturas se incrementa, la vida del molde disminuye. Ver figura 4.5

4.- "Metodos de enfriamiento". El agua como medio de enfriamiento es más efectiva que el enfriamiento por aire, pero ésta, substancialmente disminuye la vida del molde.

5.- "Ciclos de calentamiento". Generalmente en una operación continúa, en el cual el molde es mantenido a una temperatura uniforme, da por resultado una vida máxima del molde, pero los calentamientos y enfriamientos en forma repetida sobre un amplio rango de temperaturas dan como resultado una vida más corta.

6.- "Precalentamiento del molde". Para llegar a la temperatura de operación el molde debe calentarse por medio de una flama de gas o calentadores eléctricos, ésto incrementa aun más la vida del molde, a pesar de que los choques térmicos son una de las principales causas de falla del molde.

7.- "Recubrimientos para molde". Sirven para proteger al molde de la erosión y prevenir la soldadura del metal que entra en contacto con la superficie, con ésto se incrementa la vida del molde.

8.- "Almacenaje". Un almacenaje incorrecto del molde puede llevar a una excesiva oxidación y picado de la superficie con una consecuente reducción en la vida del molde.

9.- "Limpieza". Las prácticas más comunes para la limpieza de moldes son por medio de chorros de arena abrasiva, inmersión en soluciones cáusticas y limpieza con cepillo de alambre. La inmersión en sosa cáustica puede ser peligrosa para el operador, también el cepillado y la arena abrasiva pueden causar un desgaste excesivo, si éste no es cuidadosamente controlado. El uso de vidrios achaflanados, así como de arena abrasiva son los métodos más seguros para remover el recubrimiento del molde, ya que minimiza los cambios dimensionales debido a la erosión que provoca el chorro de arena abrasiva.

10.- "Alimentación". Si el sistema de alimentación de la fundición es deficiente, puede reducir mucho la vida del molde por causa de la excesiva lentitud del flujo del metal en áreas de

alimentación.

11.- "Método de operación del molde". Aunque los mismos materiales pueden ser usados para fabricar el molde y los corazones tanto para equipos operados automáticamente como para equipos operados manualmente, la vida del molde en equipos operados manualmente es más corta a causa de las variaciones en las condiciones de operación.

#### INFLUENCIA DEL DISEÑO DEL MOLDE

En adición a los anteriores factores el diseño del molde tiene un marcado efecto en la vida del mismo. Las variaciones en el espesor de las paredes causan esfuerzos excesivos que son fomentados por la duración de los calentamientos y enfriamientos ya que causan deformaciones prematuras y fallas por fisuración. También los cambios de espesor como los filetes amplios causan fallas, los filetes y radios pequeños también llevan a reducir la vida del molde porque muchas veces las fallas se inician en éstos puntos en los que empiezan a generar fisuras.

Generalmente, se utilizan ángulos pequeños sobre superficies externas del molde que en superficies internas, a causa de la contracción que sufre la pieza fundida. Ángulos de salida de unos 5° no son recomendables, pero se aconsejan ángulos de 2° en exteriores y de 3 grados en superficies internas. Si se usan ángulos más pequeños, disminuye el número de fundiciones que pueden ser producidas entre reparaciones del molde. El efecto que tienen los ángulos de salida sobre la vida de corazones y molde que se usan para producir piezas fundidas de aleaciones de aluminio se muestran en la figura 4.6. Las proyecciones dentro de la cavidad del molde contribuyen grandemente a reducir la vida de éste, ya que pueden llegar a ser puntos calientes, con lo cual se incrementa la posibilidad de deformación, fractura y mutilación cuando la pieza sea removida del molde. De la misma forma es posible aumentar la vida del molde mediante el uso de insertos que replacen proyecciones irregulares o rotas.

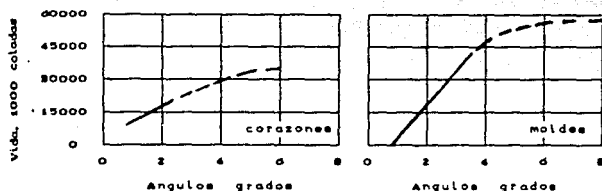


figura 4.4. Efectos de los ángulos de salida sobre la vida de corazones y moldes para fundiciones de aleaciones de aluminio.

#### RECUBRIMIENTO PARA MOLDES

El recubrimiento aplicado en la superficie del molde y corazones, sirve como una barrera entre el metal fundido y la superficie del molde donde se forma una película de metal sólida.

Los recubrimientos para moldes son usados para cuatro diferentes objetivos.

- 1.- Para prevenir un enfriamiento prematuro del metal fundido.
- 2.- Para controlar la rapidez y solidificación direccional de la fundición, y así lograr mayor solidez y una mejor estructura cristalográfica.
- 3.- Para minimizar el choque térmico en el molde
- 4.- Para prevenir la soldadura de el metal fundido con las paredes del molde.

Tipos: Los recubrimientos de moldes son generalmente de 2 tipos, aislantes y lubricantes, aunque algunos realizan ambas funciones. Un buen recubrimiento aislante puede ser hecho de una parte de silicato de sodio a dos partes de caolín coloidal (por peso), disueltos en suficiente agua para permitir ser rociados. Los recubrimientos lubricantes generalmente contienen grafito en una adecuada cantidad. Ver Tabla 4.6

Las diversas necesidades de un recubrimiento para molde no pueden ser obtenidas con una sola formula, muchas veces estas necesidades son logradas por la aplicación de diferentes recubrimientos en varios sitios dentro de la cavidad del molde.

Requisitos de los recubrimientos: Para prolongar la vida del molde, el recubrimiento debe ser no corrosivo, debe adherirse bien al molde y sin embargo ser fácil de remover, debe ser inerte con

el metal líquido y libre de reaccionar con los gases producidos por los materiales. Si es necesario que se aislen secciones delgadas, alimentadores, rebosaderos, debe adicionarse al recubrimiento con arcilla refractaria, óxidos de metal, tierra diatómacea, tiza, jabón, mica ó talco, pero si es necesario una aceleración de enfriamiento debe adicionarse grafito. Ver tabla 4.6.

TABLA 4.6

COMPOSICIONES TÍPICAS DE RECUBRIMIENTOS PARA MOLDES PERMANENTES

RECUBRIMIENTO	1	2	3	4(b)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Composición en % de solución														
SILICATO DE SODIO	2	8	...	12	5	9	11	...	7	23	30	18	8	7	20
BLANCO DE ESPAÑA	...	...	...	7	9	11	...	...	...	...	...	...	...	...	53
ARCILLA REFRACT.	4	4	...	...	...	4	...	4	1	...	...	...	...	...	...
OXIDO DE METAL	...	...	...	...	2	...	17	...	...	...	...	...	60	...	...
TIERRA DIATOM.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	5	41	...	...	...
JABON	...	...	...	...	...	14	...	23	23	...	...	...	...	...	...
TALCO	...	...	...	...	5	...	...	...	...	20	10	...	...	62	...
MICA	...	...	...	...	...	...	...	5	2	...	...	...	...	...	...
GRAFITO	1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
ACIDO BORICO	...	7	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

a) Sirve también como aislante.  
b) Además carburo de silicio en un 2% por peso.

Las superficies del molde deben ser limpiadas, y estar libres de aceite y grasa. Si el recubrimiento se aplica como spray, el molde debe estar suficientemente caliente 200°C (400°F) para evaporar el agua inmediatamente.

El recubrimiento puede ser aplicado por rociado o con brocha, y debe ser de un espesor adecuado para rellenar las pequeñas imperfecciones, como es el rayado o picaduras. También debe ser adecuado para que al secar deje una textura suave en las áreas del molde de difícil acceso, como son costillas y paredes del molde, y secar con una textura rugosa sobre grandes áreas planas del molde

para permitir el escape del aire atrapado. Las mejores superficies de las piezas fundidas son obtenidas cuando el recubrimiento tiene textura mate. Los recubrimientos extremadamente húmedos no deben ser usados porque incrementan la formación de películas de óxido.

Las capas delgadas son aplicadas sucesivamente bajo el recubrimiento si el espesor deseado, tiene un máximo de 0.75 mm (1/32").

Los recubrimientos gruesos son generalmente usados sobre superficies de bebederos, orificios de colada y rebosaderos, porque proporcionan mejor aislamiento lo que da como resultado un lento enfriamiento del metal. Sin embargo muy a menudo éstos tienden a descascararse o resaltarse por lo que no deben ser usados en las superficies de la cavidad del molde. Los recubrimientos gruesos son aplicados con una brocha y se adhieren mejor si son aplicados sobre una capa del recubrimiento inicial.

La vida de los recubrimientos varían considerablemente con la temperatura de fusión del metal, tamaño y complejidad de la pieza y la rapidez de colada. Algunos moldes requieren de un nuevo recubrimiento en el comienzo de cada turno, otros pueden continuar por largos períodos con sólo la reparación de los puntos de contacto. Se utiliza un chorro de arena abrasiva ligera para preparar el retocado del recubrimiento ó para remover recubrimientos gastados.

#### Recubrimientos específicos de moldes para ciertos metales

La selección de un recubrimiento depende en gran medida del tipo de metal que va a ser fundido. Para fundiciones de aluminio y magnesio un tipo de lubricante es usado ordinariamente, y al mismo tiempo pueden usarse mezclas más complejas.

Para fundiciones de cobre y sus aleaciones, se utiliza un recubrimiento para molde del tipo aislante, debido a su elevada temperatura de fusión y solidificación.

Los recubrimientos usados en la producción de fundiciones de hierro gris se dividen en dos categorías: a) en un recubrimiento o capa inicial que se aplica antes que el molde sea puesto en producción, b) un recubrimiento posterior de hollín (carbón), el cual es aplicado antes de cada colada.

El recubrimiento inicial consiste en una solución de silicato de sodio y trozos de arcilla finamente dividida, mezclados en una relación de alrededor de 1 a 4 en volumen, con agua (usualmente 15 partes por volumen) para permitir un adecuado rociado o cepillado con brocha. Esta mezcla es aplicada en el molde después que ha sido calentado hasta cerca de 250 a 260°C (475 a 500°F).

El recubrimiento secundario es una capa de hollín (carbón) que se deposita en las caras del molde y cavidades en el momento de efectuar cada colada.

El hollín está formado por gas acetileno quemado, entregado a baja presión manométrica 4.5 a 53 gr/cm<sup>2</sup> (1 a 12 oz/in<sup>2</sup>) obteniéndose una cantidad máxima de hollín y generándose un mínimo de calor. Este puede ser aplicado manualmente o por quemadores automáticos permitiendo ser fácilmente removido de la pieza fundida y del molde, previniendo la soldadura de la pieza fundida con el molde. También provee un sellado entre las caras del molde que sirve para minimizar las fugas, el espesor del depósito de carbón en el molde es de 0.102 a 0.254 mm (0.004 a 0.010 in).

Los recubrimientos para piezas fundidas centrifugadas de tubos de hierro gris se aplican en forma de suspensión de silicato de fluor o arena China calcinada (Kaolin) en agua, con bentonita como aglutinante. El ferrosilicio (malla 150) también es usado; y es aplicado húmedo en el molde y puesto en la superficie del molde por fuerzas centrífugas.

#### TEMPERATURA DEL MOLDE

Si la temperatura del molde es demasiado alta, hay un excesivo burbujeo durante el vaciado en el molde, y las piezas fundidas se debilitan al ser extraídas, con una consecuente reducción de las propiedades mecánicas de las piezas. Cuando la temperatura es demasiado baja hay un llenado en frío del molde con una consecuente interrupción en la alimentación de metal, que conduce a un mal funcionamiento del molde, lo cual generalmente resulta en contracciones, fisuras en caliente y adhesión de la pieza fundida en los moldes y corazones.



Algunas de las variables que determinan la temperatura del molde son:

- 1.- Temperatura de fusión o colada. Lo elevado de la temperatura del molde, lo indicará la temperatura de fusión.
- 2.- Frecuencia de ciclo. La rapidez del ciclo de operación del precalentamiento del molde.
- 3.- Peso de la fundición. La temperatura del molde se incrementa cuando el peso del metal fundido se incrementa.
- 4.- Forma de la pieza. Secciones aisladas de gran peso, núcleos de corazón, y ángulos, no sólo incrementan la temperatura sobre todo el molde, sino que también provocan un gradiente de temperatura irregular.
- 5.- Espesor de pared de la pieza. Cuando el espesor de la pared de la pieza fundida aumenta, la temperatura del molde se incrementa. Como se muestra en la fig. 4.7.

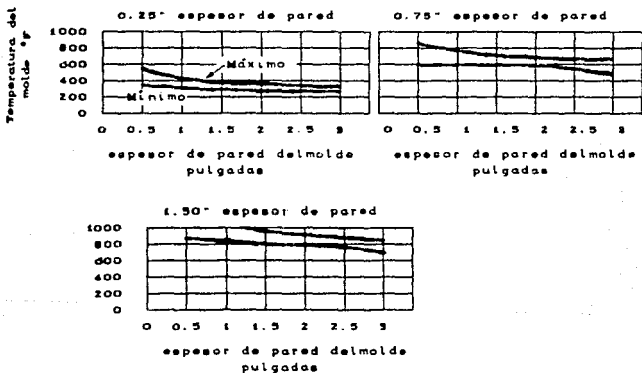


fig. 4.7. Efectos del espesor de pared del molde, y fundición sobre las temperaturas máxima y mínima de moldes operados sobre un ciclo de 9 minutos para fundiciones en molde permanente de aleaciones de aluminio. (C. L. Goodwin, N. Y. Munsicker, Trans AFE, 67, 491, 1950)

- 6.- Espesor de pared del molde. Conforme el espesor de la pared aumenta, la temperatura del molde disminuye. Ver fig 4.7.
- 7.- Espesor del recubrimiento del molde. En la forma en que el espesor del recubrimiento aumenta, la temperatura del molde disminuye.

Después de que la secuencia del proceso ha sido establecida para una operación de fundición en particular, el recubrimiento del molde, y la frecuencia del ciclo, tienen un efecto mayor en la temperatura del molde. El recubrimiento del molde difícilmente es mantenido con un espesor óptimo, debido principalmente a la dificultad en la medición del espesor del recubrimiento durante la producción. El método usado más frecuentemente para controlar el espesor del recubrimiento es una inspección periódica de los moldes. Los recubrimientos de espesor inadecuado se reflejan por malos acabados superficiales y pérdida de exactitud dimensional.

#### CONTROL DE TEMPERATURA DEL MOLDE

La temperatura óptima del molde es la temperatura con la cual se produce una buena fundición en el tiempo más corto posible. Para un tiempo de ciclo establecido, el control de temperatura es llevado a cabo por el uso de enfriamientos o calentamientos auxiliares y por control del espesor del recubrimiento.

"Enfriamientos auxiliares". Estos son llevados a cabo muchas veces forzando aire o agua a través de conductos o pasajes en secciones del molde, adyacentes a las secciones gruesas de la pieza fundida. La capa de recubrimiento requiere de un rápido enfriamiento en áreas donde la extracción de calor debe ser mayor, por lo que deben hacerse frecuentes ajustes en la rapidez del flujo de agua dentro de los pasajes o conductos. Eventualmente, el flujo de agua, llega a controlarse para que los depósitos puedan removerse.

El problema de la formación de la costra ha sido resuelto en algunos talleres por el uso de sistemas de recirculación que contienen agua desmineralizada u otro fluido con etileno. Sin embargo semejante práctica no se usa frecuentemente.

El flujo de agua es regulado manualmente para cada sección del molde con la ayuda de medidores de flujo. Una válvula de paso se usa generalmente para detener el flujo de agua cuando el proceso de fundición es interrumpido. Ajustando la relación de flujo de

agua se controla la rapidez de solidificación de una sección gruesa, permite variaciones del espesor de la pared la que puede ser diseñada dentro de un sólo molde. Por lo tanto el control del flujo de agua y la temperatura de entrada del agua (ó cualquier otro refrigerante que pueden ser usados) afectan al funcionamiento del sistema de enfriamiento del molde.

Si se usa agua o cualquier otro refrigerante, éste nunca debe ser puesto en contacto con el metal colado ya que al estar en contacto se tendría por resultado un rápido incremento de presión por la generación de vapor. La intensidad de esta presión aumenta conforme la temperatura del metal aumenta. Y adicionalmente el agua puede reaccionar químicamente con magnesio fundido

**Recubrimiento del molde:** Un recubrimiento de espesor controlado puede igualar la rapidez de solidificación entre secciones delgadas y gruesas. Los enfriamientos y calentamientos se pueden usar para un ajuste adicional de la rapidez de solidificación, de modo que el enfriamiento se da rápidamente en secciones delgadas, hacia secciones intermedias y secciones gruesas y por último en el sistema de alimentación.

**Enfriadores:** Algunos elementos son usados para acelerar la solidificación en una parte del molde. Esto puede ser hecho directamente refrigerando con chorros de aire dirigido a los enfriadores insertados en el molde o simplemente usando un metal extendido hacia afuera como un enfriador auxiliar.

Alternativamente, el enfriamiento puede ser llevado a cabo por remoción en parte o de todo el recubrimiento del molde en un área específica para incrementar la conductividad térmica.

Los enfriadores pueden ser usados para incrementar la rapidez de producción, mejorar la solidez del metal e incrementar las propiedades mecánicas.

**Calefactores:** La función de un calentador es para disminuir la rapidez de enfriamiento de una área específica. Las pérdidas de calor en un segmento del molde pueden ser reducidas por la colocación de dispositivos de calentamiento externo, como gas de horno, en contraste con enfriadores insertados en el molde. El mismo efecto puede ser producido por el uso de recubrimientos aislantes

**Aleaciones de aluminio:** La temperatura de un molde permanente para fundiciones de aleaciones de aluminio pueden ser como mínimo 190°C o como máximo de 410°C. Es muy común el uso de agua como refrigerante así como calentamientos en zonas determinadas cuyo objetivo es minimizar los gradientes térmicos en fundiciones de aluminio.

**Aleaciones de magnesio:** Los moldes para aleaciones de magnesio son precalentados de 250 - 410°C, los métodos de la temperatura del molde para obtener una solidificación direccional, son los mismos descritos para aleaciones de aluminio. Sin embargo con magnesio, el uso de agua como agente refrigerante es más peligroso, debido a que el agua reacciona químicamente con el magnesio, originando una explosión violenta, por lo que debe evitarse su uso.

**Aleaciones de cobre:** A causa de la gran diferencia de temperaturas que existe entre el metal fundido y el molde, en las aleaciones de cobre es muy usual que se usen enfriadores en el exterior del molde, aunque básicamente el molde entero actúa como un enfriador, y la solidificación direccional conveniente puede mejorar y ser realizada por medio del uso de calefactores. Los corazones pueden ser enfriados cuando dirigen hacia el interior la corriente del metal y si llegan a ser calentados indebidamente, esto puede acortar la vida del molde, o causar porosidad por afectar la solidificación del molde. En tales casos, pueden ser usados dos juegos de corazones alternativamente para mantener una temperatura más baja. En aplicaciones donde se usa agua como medio de enfriamiento, se debe de tener gran cuidado de trabajar, y más aun cuando se trabaje con aleaciones a base de cobre con temperaturas del molde de aproximadamente 800°C, ya que a través del uso o por accidente, la humedad se puede introducir al interior del molde reaccionando con el metal y causando la explosión del molde.

Para aleaciones de cobre, el enfriamiento lento en muchas ocasiones se lleva a cabo por aislamiento del molde. Y esto se logra mediante la aplicación de un recubrimiento de un espesor necesario que proporcione una baja conductividad térmica.

**Hierro gris:** Los moldes para fundición de hierro gris son operados

a temperaturas en el rango de 80 a 410°C, y un enfriamiento complementario si es necesario para optimizar la vida del molde y la productividad. El enfriamiento puede ser logrado mediante el paso del aire por espacios sobre la cara posterior de cada semimolde.

#### "EXTRACCION DE PIEZAS FUNDIDAS EN MOLDES"

Después de que la pieza ha solidificado, el molde es abierto y la pieza es extraída. Para facilitar la liberación de la pieza de fundición del molde, muchas veces se utiliza un recubrimiento de tipo lubricante o bien el uso de ángulos permisibles sobre todas las partes de la pieza fundida. En muchas piezas fundidas, se utilizan pernos de expulsión o botadores. Los pernos botadores y los corazones deben ser diseñados para que no interfieran con la extracción de la pieza fundida.

#### "Piezas fundidas de aleaciones de aluminio"

Requieren como mínimo 1° para facilitar la expulsión mecánica del molde antes de la extracción manual. El recubrimiento del molde debe contener un agente lubricante (generalmente grafito) para prevenir la adhesión, sin embargo es muy común el uso combinado de mayor número de botadores con la variación del espesor de recubrimiento para solucionar un problema de expulsión.

#### "Piezas fundidas de aleaciones de magnesio"

Estas fundiciones están expuestas a quebrarse cuando son extraídas del molde, porque el metal está ligeramente caliente. lo que hace importante el uso de ángulos adecuados.

Sobre costillas o nervaduras, un ángulo de 5° es el mínimo aceptable. Sin embargo son recomendados 10° y tiene como resultado una menor dificultad de expulsión. También para evitar el riesgo de quebrarse, deben tenerse extremados cuidados para evitar empujar en forma uniforme cuando se extraen los corazones retráctiles antes de que el molde sea abierto.

#### "Aleaciones de cobre fundido"

Pueden atorarse o pegarse en el molde por diversos motivos, el principal son los ángulos inadecuados. Los ángulos requeridos varían desde menos de 1/2° a mayores de 5° dependiendo de la

## ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

aleación, profundidad de la cavidad, dimensiones, tolerancias requeridas, y de la disposición general del molde (localización y número de planos de partición). Generalmente, los ángulos de salida aceptable varían de  $4^\circ$  a  $5^\circ$ , con los cuales las piezas fundidas no se atorarán dentro del molde. Si se requiere un mayor control dimensional, (esto es que requerirán de ángulos más pequeños) las piezas fundidas pueden atorarse, por lo que esto puede ser prevenida al añadir un expulsor mecánico ó incrementando el ángulo de salida en áreas no críticas.

Otros factores que pueden contribuir a contracciones de piezas fundidas de aleaciones de cobre son:

- 1.- Deterioro del molde: el cual es más rápido para aleaciones de cobre que para aleaciones de aluminio fundido, debido a la elevada temperatura de colada de las aleaciones de cobre. La fundición es muy probable que se contraiga dentro de un molde cuyo calentamiento no es checado de manera adecuada.
- 2.- Lubricación insuficiente: Recubrimiento de molde deficiente o inapropiado.
- 3.- Velocidad del ciclo: Las aleaciones de cobre solidifican rápidamente por lo que es necesario abrir el molde, retirar los corazones, y extraer la fundición tan rápido como sea posible para prevenir la contracción del metal y que esté se adhiera al molde.

### Fundición de hierro gris

Con muy pocas excepciones, éstas son extraídas manualmente de los moldes permanentes. Los dispositivos automáticos o semiautomáticos son deficientes y no prácticos debido a lo elevado de las temperaturas y por las diferencias de expansión y contracción de los dispositivos de expulsión y del molde de hierro gris. Generalmente si los ángulos pequeños son adecuados, las piezas fundidas y el sistema de alimentación (rebosadero) pueden ser removidas por golpes en la superficie del metal solidificado sobre la parte superior del molde, la cual está conectada a la pieza fundida por la colada. Estos golpecitos aflojan la pieza fundida de la entrada del molde, así que una barra con filo puede ser insertada detrás de la parte de entrada para arrancar la pieza fundida del molde.

Ocasionalmente, piezas grandes de cierta forma que causan contracción en malas proyecciones del molde, o que por otra parte generan condiciones que causan que se dificulte la extracción por métodos ordinarios, requerirán el uso de corazones especiales para auxiliarse en el despegue y extracción.

#### DISEÑO DE LA FUNDICIÓN

El diseño de moldes permanentes para producir deben tener la característica de disminuir costos, trayendo consigo muchas consideraciones, que se aplican en los métodos de fundición. Las características generales para obtener bajos costos de producción en diseños de moldes son:

- 1.- Evitar el uso de huecos o corazones de diámetros mayores a  $1/4"$  (Es posible obtener algunas veces huecos lisos de diámetro  $1/8"$ )
- 2.- Los ángulos de salida en la dirección del flujo del metal sobre superficies exteriores puede variar de  $1$  a  $1.5^\circ$  hasta más de  $10^\circ$  y los ángulos internos de poco menos de  $2^\circ$  hasta  $20^\circ$ . Sin embargo, el usar los ángulos mínimos incrementa la dificultad de fundición y el costo.
- 3.- En ocasiones, tuercas, bujes, clavos y otros tipos de insertos pueden ser fundidos en su lugar.
- 4.- El proyectista no debe esperar a que se formen geometrías complejas como roscas internas, chaveteros, etc.

#### PRECISION DIMENSIONAL.

Las precisión dimensional de fundiciones en molde permanente son afectadas por algunas variables en el corto y largo plazo. Las variables en el corto plazo son aquellas que prevalecen sin ser atendidos durante el transcurso del tiempo y son:

- 1.- La variación que se da ciclo a ciclo en el cierre del molde o en otras partes móviles del molde.
- 2.- Las variaciones en el cierre del molde causadas por materiales extraños sobre las caras del molde o por distorsión de los elementos del molde.
- 3.- Variaciones en el espesor del recubrimiento del molde.

#### 4.- Variaciones en la distribución de temperatura en el molde.

Los variables en el largo plazo son aquellas que ocurren durante la vida del molde y son causadas por:

- 1.- Distorsión gradual y progresiva del molde que resultan de esfuerzos residuales, aumento de fricción.
- 2.- Desgaste progresivo de la superficie del molde causado principalmente por la limpieza.

Las variaciones dimensionales, pueden ser reducidas por el establecimiento de condiciones adecuadas de calentamientos y enfriamientos, así como operando sobre ciclos fijos y manteniendo limpias las caras del molde. Esto es particularmente importante para remover del molde el mínimo de material.

Diseño del molde. El espesor del molde y el diseño de varillas de soporte tienen efecto sobre el alabeo del molde a la temperatura de operación. Las varillas de soporte en una pared delgada torcerán la cara del molde hacia una forma cóncava, y este error en el diseño del molde puede alterar las dimensiones de la fundición a través de la línea de partición, hasta en 1.6 mm (1/16").

Un cierre adecuado en la parte superior del molde puede contribuir para el control de otros problemas de alabeo.

La erosión del molde es resultado de la incidencia del metal y de la cavitación causada por un mal diseño de la alimentación, ésto contribuye a un rápido debilitamiento, desgaste del molde y disipación de calor. Estos errores en el diseño del molde contribuyen a una rápida variación dimensional durante períodos prolongados de trabajo.

La abrasión mecánica es resultado de ángulos de salidas insuficientes o de sistemas de expulsión deficientes, también contribuye a variaciones rápidas de las dimensiones de las piezas. Partes deslizantes del molde requieren de una tolerancia mayor a 0.4 mm (0.015") para funcionar con las variaciones de temperatura del molde. La tolerancia y otros problemas mecánicos asociados a partes deslizantes del molde, contribuyen a las variaciones de las dimensiones de la pieza. Así como el uso de corazones de arena que agravan más el problema.

Los recubrimientos para moldes que normalmente se aplican sobre las caras, normalmente tienen un espesor que varía de 0.07 a



4.- Variaciones en la distribución de temperatura en el molde.

Los variables en el largo plazo son aquellas que ocurren durante la vida del molde y son causadas por:

- 1.- Distorsión gradual y progresiva del molde que resultan de esfuerzos residuales, aumento de fricción.
- 2.- Desgaste progresivo de la superficie del molde causado principalmente por la limpieza.

Las variaciones dimensionales, pueden ser reducidas por el establecimiento de condiciones adecuadas de calentamientos y enfriamientos, así como operando sobre ciclos fijos y manteniendo limpias las caras del molde. Esto es particularmente importante para remover del molde el mínimo de material.

Diseño del molde. El espesor del molde y el diseño de varillas de soporte tienen efecto sobre el alabeo del molde a la temperatura de operación. Las varillas de soporte en una pared delgada torcerán la cara del molde hacia una forma cóncava, y este error en el diseño del molde puede alterar las dimensiones de la fundición a través de la línea de partición, hasta en 1.6 mm (1/16").

Un cierre adecuado en la parte superior del molde puede contribuir para el control de otros problemas de alabeo.

La erosión del molde es resultado de la incidencia del metal y de la cavitación causada por un mal diseño de la alimentación, esto contribuye a un rápido debilitamiento, desgaste del molde y disipación de calor. Estos errores en el diseño del molde contribuyen a una rápida variación dimensional durante períodos prolongados de trabajo.

La abrasión mecánica es resultado de ángulos de salidas insuficientes o de sistemas de expulsión deficientes, también contribuye a variaciones rápidas de las dimensiones de las piezas. Partes deslizantes del molde requieren de una tolerancia mayor a 0.4 mm (0.015") para funcionar con las variaciones de temperatura del molde. La tolerancia y otros problemas mecánicos asociados a partes deslizantes del molde, contribuyen a las variaciones de las dimensiones de la pieza. Así como el uso de corazones de arena que agravan más el problema.

Los recubrimientos para moldes que normalmente se aplican sobre las caras, normalmente tienen un espesor que varía de 0.07 a

0.015 mm (0.003 a 0.006").

#### ACABADO SUPERFICIAL

El acabado superficial de piezas fundidas en moldes permanentes depende principalmente de:

- 1.- Superficie de las cavidades del molde. La superficie de la fundición no puede ser mejor que la de la cavidad del molde. Marcas en caliente y otras imperfecciones pueden ser reproducidas en las superficies de la fundición.
- 2.- Recubrimiento de molde. Recubrimientos excesivamente gruesos, no uniformes, o descascarados pueden degradar la superficie.
- 3.- Diseño del molde. Debe contar con ángulos de salida suficientes para prevenir la fractura de la pieza. La localización de la línea de partición, también puede afectar la superficie final de la fundición.
- 4.- Tamaño y diseño de sistema de alimentación. Este tiene un marcado efecto, debido a la influencia sobre la rapidez y turbulencia de flujo del metal fundido.
- 5.- Ventilación. La evacuación de aire atrapado en el molde es importante para asegurar un uniforme y completo llenado.
- 6.- Temperatura del molde. Para optimizar la superficie final, la temperatura del molde debe ser la correcta para el trabajo y encontrarse razonablemente uniforme.
- 7.- Diseño de la pieza fundida. Los diversos cambios de sección, complejidad, necesidades en el cambio de dirección del flujo de metal, así como grandes áreas planas, tienen un efecto negativo sobre la superficie final.

#### DEFECTOS DE FUNDICIÓN.

Los defectos que principalmente pueden ocurrir en fundiciones obtenidas en molde permanente son: porosidad, escorias, inclusiones no metálicas, llenado en frío, distorsión y fracturas.

Las fundiciones de aleaciones de aluminio están sujetas a sufrir todos éstos defectos.

Las fundiciones de aleaciones de magnesio pueden tener los mismos defectos que las de aluminio, aunque en mayor medida, debido a que son más sensibles a calentamientos cortos.

Las fundiciones de cobre y sus aleaciones son también más susceptibles que las fundiciones de aluminio o magnesio, debido a las altas temperaturas de vaciado, sumándose también el calentamiento en zonas específicas de la cavidad del molde, causando que frecuentemente las fundiciones de cobre se queden pegadas en el molde, aunque algunas veces pueden prevenirse rediseñando la cavidad del molde, sin embargo son más susceptibles a las porosidades, causadas por el aire atrapado.

En fundiciones de hierro gris, el llenado en frío es muy raro debido a que de manera general estas son alimentadas por el fondo, lo cual permite que el aire sea desalojado por la parte superior del molde causando que las cavidades llenen totalmente. La porosidad es menos común en fundiciones de hierro gris, que en fundiciones no ferrosas, a causa de las diferentes características de contracción. Los defectos superficiales son causados principalmente por una inadecuada o excesiva capa de hollín en la superficie de la cavidad o por un sobrecalentamiento en áreas. Si la capa de hollín es muy gruesa se obtienen superficies sumidas, rayaduras y aire atrapado. Si la capa es muy delgada (causada por un sobrecalentamiento de la cavidad), la superficie de la pieza puede tener un gran número de orificios de forma irregular.

Las fundiciones de hierro gris producidas por el método centrífugo son susceptibles a los siguientes defectos..

- 1.- Formación de carburos en el diámetro exterior, usualmente causados por: un pobre control de la composición de la fundición, moldes fríos, hierro excesivamente caliente, y falta de recubrimiento.
- 2.- Formación de carburos en el diámetro interior, usualmente causados por un exceso en el contenido de azufre.
- 3.- Fracturas, causadas por la contracción
- 4.- Arrugas, causadas por impedir la expansión.
- 5.- Llenado en frío (aparece como láminas muy delgadas), causado por temperatura del hierro muy baja, moldes fríos, o colada incorrecta.
- 6.- Soldadura, causada por un recubrimiento del molde deficiente o por el hierro fundido excesivamente caliente.
- 7.- Agujeros o explosiones, causadas por un secado incompleto del

recubrimiento del molde.

B.- Rugosidad interna, causada por escoria o basura en el metal, desprendimiento del recubrimiento durante la colada, aleaciones no disueltas, o explosiones.

#### COSTOS

El costo total en el proceso de fundición en molde permanente incluye el costo del metal, mano de obra, combustible, proveedores, mantenimiento del molde así como de otros equipos, inspección e impuestos.

Costo contra cantidad: La fundición en molde permanente es usada principalmente para producciones medias y altas, aunque el proceso es usado algunas veces en forma ventajosa para una baja producción. El costo por fundición o por kilogramo de metal (libra) disminuirá conforme se incremente la cantidad de producción.

Fundición en molde permanente contra fundición en arena. Frecuentemente el proceso de molde permanente es preferido con respecto a la fundición en arena u otros procesos alternativos, principalmente debido al bajo costo por fundición.

El costo del molde no debe de rebasar el 10 % del costo de la fundición ó en tal caso deberá buscarse una alternativa más conveniente.

## CAPITULO V

### Diseño del equipo

Como en todo proceso de diseño el primer paso fué establecer las características y condiciones de diseño.

Las condiciones de diseño bajo las que se realizó éste proyecto es que la operación sea lo más sencillo posible, pero que a la vez contase con el mayor número de características de una máquina industrial, sin perder de vista que el objetivo básico que es para uso didáctico.

En la investigación realizada para ver los diferentes tipos de máquinas existentes se encontró una extensa gama pero todas ellas con control neumático o hidráulico, lo cual debido al objetivo planteado, limitó la selección, por las dificultades que presenta la fabricación de dispositivos de éste tipo que requieren de máquinas de uso especial.

Entre las opciones más convenientes para una máquina de tipo didáctica con características de las industriales son:

La máquina con sistema "tipo libro"

La máquina con sistema tipo prensa accionada por engrane-cremallera.

La máquina con sistema "tipo libro" que anteriormente se describió, tiene el inconveniente de que no se pueden elaborar piezas de un espesor grande, debido a que el giro de la bisagra lo limita, en su defecto se tendría que maquinarse la cavidad de toda la pieza en todo el semimolde fijo, además que la bisagra y los tornillos de fijación deben ser lo suficientemente robustos para soportar el peso del semimolde móvil sin sufrir flexión, tampoco se puede asegurar su centrado correcto, ya que por su giro no se pueden colocar guías o pernos cilíndricos o cónicos así como maquinarse la cavidad para ellos en los semimoldes, y por último que requiere de al menos dos tornillos de apriete para el cierre del molde.

La máquina "tipo prensa" accionada por cremallera, presenta la dificultad de la fabricación tanto del engrane como de una

cremallera lo suficientemente larga y una base soporte para la fijación de éstos, requiriéndose también de al menos dos tornillos de apriete rápido o en su caso de grapas para cerrar los moldes rápidamente, y así evitar quemaduras al momento de cerrarla debido a las temperaturas de operación de la máquina que se encuentran en el rango superiores de 250 a 350°C. Este tipo de máquina tiene la posibilidad de obtener piezas de un espesor más grande ya que se puede distribuir el espesor de la pieza deseada en ambos semimoldes, otra de las ventajas que presenta este tipo de máquina es que si es posible la colocación de barras o pernos guías para un centrado correcto de los moldes de una manera más sencilla, haciendo más confiable la calidad de las piezas obtenidas.

En base al análisis anterior se optó por escoger, la máquina accionada por sistema engrane-cremallera pero con algunas variantes como son:

Para el movimiento de cierre y apertura del molde se optó por utilizar un tornillo de potencia, y de ésta forma sustituir a la cremallera, teniendo además una gran capacidad en la fuerza de cierre y con ésto eliminar los dispositivos de cierre como son los tornillos de apriete o las grapas.

Para la fabricación del tornillo, se eligió un material que contara con la resistencia mínima para evitar la falla en operación y además que las propiedades de maquinabilidad, fueran buenas, debido a que se requiere de bastante maquinado cuidadoso y preciso. Por lo que se optó por utilizar acero laminado en caliente del tipo 1041, que es muy comercial y se puede encontrar en las dimensiones adecuadas, teniendo propiedades que cumplen satisfactoriamente con los requerimientos.

Para la tuerca se decidió utilizar en un principio el bronce pero por presentar un desgaste mayor y menores propiedades mecánicas, al final se optó por utilizar acero del mismo tipo 1041 para su fabricación.

A continuación se especifica el proceso de fabricación realizado para obtener el tornillo. (ver dibujo A1)

1.- Se partió de una barra de  $\phi$  1 1/8" por 16" de longitud.

- 2.- Se refrentaron ambos extremos para obtener una  $L=400$  mm y se hicieron los agujeros para trabajar entre centros utilizando broca de centros No.3.
- 3.- Se desbastó y afinó hasta  $\phi 1"$ , posteriormente se realizó una ranura de desahogo para la terminación de la rosca.
- 4.- Se procedió a maquinar la cuerda con  $\phi 1"-4$  cuadrada-2 utilizando una luneta móvil y refrigeración abundante.
- 5.- Una vez obtenida la cuerda se procedió a hacer el escalón de  $\phi 12 \times 20$  mm, así como la ranura con  $R=1$  mm para la colocación del seguro.
- 6.- Se invirtió la pieza para realizar el otro escalón a  $\phi 20 \times 35$  mm.
- 7.- Se realizó otro desbaste a un diámetro de  $\phi 12.7 \times 25$  mm para posteriormente hacer rosca  $1/2"-12NC-2$ .
- 8.- Finalmente se hicieron unos planos en el escalón de  $\phi 20$  mm para evitar el empleo de cuñas entre el volante y tornillo.

Para la fabricación de la tuerca se partió de una barra de  $\phi 1 \frac{3}{4}" \times 1 \frac{3}{4}"$ .

- 1.- Se refrentó por ambos lados para obtener una longitud de 40 mm.
- 2.- Se cilindró la pieza a un diámetro de  $40 \phi$  mm.
- 3.- Se procedió a barrenar utilizando broca de centros No.5, broca  $1/4"$ ,  $1/2"$ ,  $5/8"$ , y  $3/4"$ .
- 4.- Afinado del barrenado interior a  $\phi 19.84$  mm (0.781"), utilizando barra de interiores.
- 5.- Se maquinó la rosca interna a  $1"-4$  CUADRADA -2.
- 6.- Se hicieron biseles interno y externo.

A continuación se presenta la memoria de los cálculos de la fuerza de cierre que proporciona el tornillo y la fuerza de reacción que presenta el molde debida a la presión metalostática de la columna de metal líquido.

Datos

$D_o = 1$  pulg

hilos por pulgada 4

Diámetro menor 0.781 pulg

profundidad de la rosca 7P/16

Paso y avance

$P = 1/$  No. de hilos por unidad de longitud

avance = paso para rosca simple

$$\text{ángulo de avance } \lambda = \text{arc tang} \frac{\text{avance}}{\pi * D_m}$$

$$\begin{aligned} \text{tang } \beta &= f \quad \text{y} \quad f = \text{factor de fricción} \\ Q &= R \text{ sen } (\beta + \lambda) \\ W &= R \text{ cos } (\beta + \lambda) \\ Q &= W \text{ tang } (\beta + \lambda) \end{aligned}$$

$$T = Q * D_m / 2 = \frac{W * D_m}{2} \text{ tang } (\beta + \lambda)$$

donde el par está dado por:

$$T = F * a \quad \text{donde } a \text{ es el brazo de palanca}$$

$$T = \frac{W * D_m (\text{tang } \lambda + \text{tang } \beta)}{2 (1 - \text{tang } \beta + \text{tang } \lambda)} = \frac{W * D_m (\text{tang } \lambda + f)}{2 (1 - f + \text{tang } \lambda)}$$

donde  $f = 0.125$  para acero con acero

$$\lambda = \text{ang tan} \frac{0.25}{\pi (0.781)} = 5.817^\circ$$

$$\text{tang } \beta = f \Rightarrow \text{tang } \beta = 0.125$$

si la fuerza aplicada en el volante por el operario es de 5kg. (11 lb) y el brazo de palanca es de 13 cm (5.1 pulg) se tiene que:

$$T = 5 * 13 = 65 \text{ kg cm}$$

por lo que:

$$Q = \frac{2T}{D_m} = \frac{2 * 65}{1.93} = 67.35 \text{ kg} \quad (148.4 \text{ lb})$$

$$W = \frac{2T}{D_m \text{ tang } (\beta + \lambda)} = \frac{2 * 67.35}{1.93 * \text{tang } (0.125 + 5.817)}$$

$$W = 671.35 \text{ kg} \quad (1478.8 \text{ lb})$$

$$W = 6580 \text{ N}$$

La fuerza de reacción del molde debido a la presión metaloestática es la siguiente:

Partiendo de los conceptos vistos en el apéndice C podemos calcular el valor de la presión metaloestática y fuerza de cierre de la siguiente manera:

Consideramos que la presión ejercida sobre la superficie del molde se manifiesta cuando el metal se encuentra en estado líquido y de este razonamiento podemos calcular la presión de la columna de fluido por medio de la expresión

$$P = \rho g h$$

si se considera que



el metal líquido es Zamak se tiene que:

$$\rho = 6.667 \text{ gr/cm}^3$$

$$h = 10.7 \text{ cm}$$

$$g = 9.8 \text{ m/seg}^2$$

efectuando las conversiones se tiene que:

$$P = (6.667 \text{ gr/cm}^3)(9.8 \text{ m/seg}^2)(0.107 \text{ m}) = 6991.02 \text{ N/m}^2$$

sabemos que el área proyectada de la pieza es:

$$A_p = \pi \cdot 0.02^2 = 12.566 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

por lo que la fuerza de cierre será:

$$F = P \cdot A_p$$

$$F = 6991.02 \text{ N/m}^2 \cdot 12.566 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F = 8.795 \text{ N}$$

Para el plomo se tiene que la presión, así como la fuerza de reacción serán máximas debido a la densidad del plomo.

$$\rho = 11.34 \text{ gr/cm}^3$$

la presión será:

$$P = (11340)(9.8)(0.105) = 11668.86 \text{ N/m}^2$$

se sabe que el área proyectada de la pieza es:

$$A_p = 23.04 \text{ cm}^2$$

por lo tanto la fuerza de reacción en las caras del molde será:

$$F = P \cdot A_p$$

sustituyendo valores se tiene que:

$$F = (11668.86 \text{ N/m}^2)(23.04 \times 10^{-4} \text{ m}^2)$$

$$F = 26.885 \text{ N}$$

Utilizando la ecuación para calcular la fuerza necesaria que se emplea para la fundición a presión.

$$F_c = 1.25 \cdot F$$

$$F_c = (1.25)(26.885 \text{ N}) = 33.6 \text{ N}$$

De estos cálculos se observa que la fuerza de reacción es muy pequeña comparada con la fuerza de cierre desarrollada por el tornillo de potencia.

Cálculo de la presión que soporta el molde.

De acuerdo a las dimensiones del tornillo, y al material que es un acero AISI 1050 que tiene un:

$$\sigma_t = 578.76 \text{ MPa} \quad (84 \text{ kpsi}) \quad (5905.2 \text{ kgf/cm}^2)$$

considerando que el área mínima del tornillo es el área al diámetro interior de la rosca.

$$\phi_{int} = 7P/16 \text{ pulg} = 0.781 \text{ pulg}$$

para fines de cálculo se tomará  $\phi_{int} = 20 \text{ mm}$ .

considerando un factor de seguridad de  $n = 1.5$

$$\sigma_{t \text{ permisible}} = \sigma_t / n = 5905.2 / 1.5 = 3936.8 \text{ kg/cm}^2$$

por lo que la fuerza máxima que se puede aplicar en el tornillo será:

$$F_{max} = \sigma_{t \text{ permisible}} \cdot A_{\text{tornillo}}$$

$$F_{max} = 3936.8 \text{ kg/cm}^2 \cdot \pi(2)^2/4 \text{ cm}^2 = 12367.82 \text{ kgf.}$$

por lo que la presión que pueden soportar será:

$$P = F_{max} / A_{\text{placas}}$$

suponiendo que el área máxima útil que se pudiera utilizar en las placas de los semimoldes fuera una circunferencia con diámetro de 18cm y sabiendo que las dimensiones de las placas son de 18x18 cm.

$$P = 12367.82 \text{ kgf} / (\pi(18)^2/4 \text{ cm}^2) = 48.6 \text{ kgf/cm}^2 \quad (4.76 \text{ MPa})$$

igualando el valor de esta presión a la empleada en la metalostática para hallar la columna de metal líquido.

$$P = \rho g h$$

utilizando como metal al plomo se tiene que:

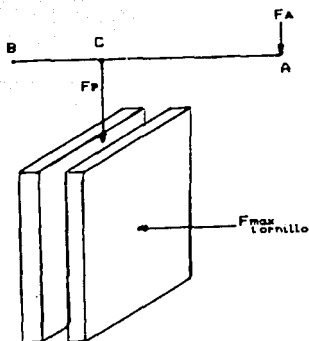
$$486000 \text{ kg/m}^2 = 11340 \text{ kg/cm}^3 \cdot h$$

despejando h tenemos:

$$h = 486000 \text{ kg/m}^2 / (11340 \text{ kg/m}^3)$$

$$h = 42.85 \text{ m}$$

Los cálculos desarrollados muestran que en esta máquina se puede realizar fundición a presión. Si la máquina se utiliza como una combinación de fundición por gravedad y fundición a presión (cuando ésta se le proporciona manualmente, es decir la proporciona el operario).



Aplicando suma de momentos con respecto al punto B se tiene que:

$$\Sigma M_B = 0$$

$$\Sigma M_B = (F_P)(\overline{BC}) - (F_A)(\overline{BA})$$

$$F_P(\overline{BC}) = F_A(\overline{BA})$$

$$F_P = F_A(\overline{BA})/(\overline{BC})$$

Donde  $F_A$  es la fuerza aplicada por el operario

$$\text{Si } F_A = 30 \text{ Kg}$$

$$F_P = (30)(15)/7$$

$$F_P = 64.3 \text{ Kg}$$

Esta fuerza es la aplicada por el pistón, por lo que la presión será:

$$P = F_P/A$$

A = área del bebedero

$$A = \pi (2)^2/4$$

$$P = 64.3/3.1416$$

$$P = 20.46 \text{ kgf/cm}^2$$

Esfuerzo en el pasador:

El pasador tiene un diámetro de 1/8", que es igual a 3.17 mm

Como el perno es de acero 1018:

$$S_y = \text{opermisible} = 32 \text{ kpsi} = 2249.6 \text{ Kgf/cm}^2$$

Como  $F_P = 64.3 \text{ Kg}$

$$\begin{aligned}
T_{\max} &= T_{\text{per}} = 0.557 S_y \\
T_{\max} &= T_{\text{per}} = 0.557(2249.6) \\
T_{\max} &= T_{\text{per}} = 1298 \text{ Kg/cm}^2 \\
T_{\text{perno}} &= F/A_{\text{perno}} \\
T_{\text{perno}} &= 64.3 / (\pi(0.317)^2/4) \\
T_{\text{perno}} &= 814.709 \\
T_{\text{perno}} &< T_{\max}
\end{aligned}$$

Entonces se deduce que el perno soporta la fuerza que se aplica manualmente.

#### ESCUADRAS

De los cálculos realizados anteriormente, se ha visto que la fuerza del tornillo de potencia sobrepasa la fuerza de reacción del metal para abrir el molde, pero para una presión uniforme se diseñaron unas escuadras de apoyo para evitar que el molde quede mal cerrado y de ésta forma evitar fugas del metal. Teniendo en cuenta que éstas debieron ser de un tamaño adecuado para permitir la colocación y operación del sistema de expulsión.

El material que se eligió para éste fin, fué una placa de acero cold rolled 1015, que es un material económico y con propiedades mecánicas y físicas adecuadas, de acuerdo al diseño se puede asegurar que soportan los esfuerzos ocasionados por la fuerza de cierre, asegurandonos de esta manera la verticalidad entre la base y el molde cuando éste se encuentre cerrado, además de sus excelente maquinabilidad que permite la realización del maquinado de agujeros roscados. Otra de las funciones de estas escuadras de apoyo es que funcionan como disipadores de calor que en cierta forma contribuye a no utilizar sistemas de enfriamiento por refrigeración.

Para la fabricación de estas piezas el procedimiento efectuado fué el siguiente. (Ver dibujo A2)

- 1.- Se trazaron las piezas con un excedente de 10 mm, para ésto se utilizó flexómetro, tinta y rayador.

- 2.- Se cortó la placa con soplete de oxiacetileno.
- 3.- Se desbastó, escuadró y afinó utilizando cepillo de codo a medidas de 180 x 120 con un saque de 10.5 x 12.0
- 4.- Se trazaron las posiciones para los barrenos (de manera conjunta con el semimolde fijo.)
- 5.- Se sujetó, centró (conservando la perpendicularidad) y se procedió a barrenar. Se utilizó broca de centros No 3, 5/32", aceite de corte, juego de machuelos de  $\phi$  3/16", manteca.
- 6.- Se procedió a hacer los radios para quitar esquinas, así como a biselar los ángulos, utilizando lima basta y lima fina.

#### SISTEMA DE EXPULSION Y BOTADORES

Como puede observarse en las máquinas con sistema "tipo libro y prensa" el dispositivo de expulsión o botador se encuentra en el semimolde fijo, y que en el caso de las máquinas industriales este se encuentra en el semimolde móvil, debido básicamente a que se aprovecha su carrera de apertura, ya que al llegar una cierta distancia previamente determinada, acciona por sí sola a los botadores y de esta forma se ahorra un pistón hidráulico o neumático, el sistema de expulsión está diseñado de tal forma que por medio de resortes que en el momento de cerrar el molde estos lo regresan a su posición original y prepararlo para otro ciclo. El sistema de expulsión es accionado manualmente por una palanca que permite una expulsión rápida y fácil de la pieza. Partiendo del principio que el sistema de expulsión debe tener el menor número posible de botadores, se consideró la opción de colocar un sólo botador al centro de la pieza, pero como la huella que deja el botador caería dentro de la figura del puma, se tendría una pieza con una mala presentación. Otra posible opción era la de colocar dos botadores en línea vertical, pero se tendría el mismo problema que se menciona en el caso anterior. La otra opción fué colocar a éstos dos botadores en línea horizontal, pero podrían causar deformación o no ser suficientes en el momento de la expulsión por

no distribuir de manera uniforme la fuerza en la cara de la pieza. Por lo que se decidió colocar tres botadores, debido a la geometría de ésta. Este mecanismo constituido por los tres pernos botadores están distribuidos de tal forma que expulsan la pieza sin deformarla, ya que la fuerza está mejor distribuida. Estos están montados sobre una placa que corre libremente sobre los tornillos de fijación del inserto.

Para la fabricación de estos pernos botadores, se tenía como una opción utilizar acero H13 pero se presentó el inconveniente de que en el mercado sólo se conseguía como mínimo de 2" y el diámetro de los botadores es de 1/4" lo cual implicaba un gran desperdicio de material. Esto llevó a buscar otro material que por sus propiedades cumpliera con los requerimientos principalmente que presentara una alta resistencia mecánica a altas temperaturas y que no sufran oxidación a temperaturas en el rango de los 700°C. Después de analizar varios aceros se decidió utilizar un acero inoxidable SAE 40 puesto que empieza a sufrir oxidación por arriba de los 760°C y presenta buena resistencia a altas temperaturas, lo cual es aceptable considerando el rango de temperaturas de operación de los moldes. Es fácil de adquirir y tiene un costo razonable y excelente maquinabilidad, que es muy importante debido a las tolerancias estrechas de estos pernos.

El sistema expulsor o botador se diseñó de tal forma que tenga la rigidez suficiente y que sea pequeño, ocupando el menor espacio posible pero funcional, en este sistema se introdujo una variante más a los diseños convencionales que fue el de utilizar botadores de longitud ajustable ya sea en forma individual como en su conjunto, y además ahorrándose perforaciones en la placa fija, así como elementos mecánicos que componen este sistema, por ejemplo los tornillos que soportan el sistema de expulsión y que también fijan el inserto en el semimolde fijo.

En la fabricación del sistema de expulsión se requirieron de 5 piezas que son: (Ver dibujo A3)

- I Soporte de la palanca
- II Palanca
- III Barra de acoplamiento

IV Placa guía

V Pernos botadores

I.1.- Para la fabricación de esta pieza se partió de una barra de  $\phi 1 \frac{1}{8}'' \times 80$  mm. Se refrentó por ambos lados.

2.- Se desbastó una sección de 15 mm a  $\phi 9.5$  mm.

3.- Se generó una rosca  $3/8''-18$  NC, utilizando manteca como lubricante.

4.- Se realizó la ranura de  $10 \times 20$  mm en el otro extremo.

5.- y finalmente se redondearon las esquinas.

II.1.- Para esta pieza se partió de una barra de  $\phi 20 \times 190$  mm. la cual se desbastó hasta aproximar a la forma deseada ver dibujo A3

2.- Se afinó con lima y lija.

3.- Se planeó un extremo y en el centro a un espesor de 9.5mm.

4.- Se ensambló con su base y se perforó para posteriormente ponerle un perno de  $1/8''$ .

III.1.- Se partió de placas de solera de  $2'' \times 3/4'' \times 1/8''$

2.- Se desbastaron utilizando fresadora hasta medidas de  $50 \times 15 \times 3$  mm.

3.- Se trazaron centros y radios utilizando tinta y rayador.

4.- Se montó en taladro de columna para realizar el barrenado de  $1/8''$ , usando broca de centros No3 y broca de  $1/8''$ .

5.- Se sujetaron en tornillo de banco y se realizaron los radios con  $r = 7$  mm, y eliminar ángulos agudos.

IV.1.- Se partió de una placa de  $75 \times 75$  mm, se desbastó a  $70 \times 70 \times 8$ .

2.- Se realizaron radios con  $r=5$  mm y matar filos.

3.- Se trazaron centros para los botadores de manera simultánea con los insertos para hacer barrenos de  $3/8''$ ,  $1/4''$ , y en el centro de  $1/2''$  para rosca.

4.- Se montó en taladro vertical y se procedió a hacer 4 barrenos de  $3/8''$ , con broca de centros No3,  $3/8''$ . hacer 3 barrenos roscados de  $1/4''$ , con broca de centros No3, broca de  $1/4''$ , juegos de machuelos de  $1/4''$ .

realizar un barreno roscado de  $3/8''$  al centro con broca de

centros No 3, 5/16", juego de machuelos de 3/8".

- V.1.- Para los pernos expulsores se partió de redondos de acero inoxidable con las características mencionadas anteriormente. fué sujeta entre centros y se desbasto hasta  $\phi$  1/4.
- 2.- Se hizo un escalón en el centro a  $\phi$  4mm x 70 mm.
- 3.- se cortó a la mitad, y se roscó el cilindro de  $\phi$  1/4".
- 4.- Se ajustó cada perno a las cavidades para tener tolerancias muy cerradas.

#### SEMIMOLDES

Se decidió que el semimolde móvil debería ser más ligero para disminuir el peso y esfuerzo al moverla, ya que básicamente tiene la función de una tapa, es decir, al efectuarse la colada y abrir el molde, la pieza fundida queda retenida en el semimolde fijo, debido a que la cara con geometría más difícil e intrincada se maquinaria en el semimolde fijo.

#### PLACAS MOLDES

Para la fabricación de los semimoldes, se tuvo la alternativa de utilizar placas de acero, o bien placas de fundición gris, ya que ambos materiales cumplían con la resistencia necesaria. Se decidió elegir la primera opción ya que además de presentar mayor resistencia se disponía de manera inmediata de las placas de acero.

Debido al tamaño de las placas se necesitaba de un acero con una baja dureza y buena maquinabilidad puesto que la cantidad de maquinado sería bastante, además de necesitarse mucha precisión dimensional, por lo cual se decidió utilizar un tipo de acero con un contenido de carbono de entre 0.25 a 0.60 % de C. Aceros 1020 a 1060. (Ver dibujos A4, y A5)

- 1.- Para la fabricación de los semimoldes, o porta insertos se partió de placas de una medida de aproximadamente; 7.5"x7.5"x1.5", para lo cual se requirió el cepillo de codo,



la fresadora universal, la rectificadora y marmol para su trazado.

- 2.- Se procedió a desbastar para con ello conseguir las medidas adecuadas para su posterior afinado, cuidando siempre la perpendicularidad entre las caras y cantos, para obtener una medida de 183x183x35mm.
- 3.- Se dió el correspondiente afinado simultáneamente las dos, semimoldes para obtener la medida de 181x181x33mm para conseguir un mejor ensamble del molde, sin tener que ajustar posteriormente.
- 4.- Se trazaron las cavidades y barrenos, en el marmol, con tinta y trusquin rayador, granateando posteriormente en el tornillo de banco para evitar que se fuese a borrar dicho trazado.
- 5.- Se procedió a hacer los barrenos y roscas en aquellos que las requerían, utilizando broca de centros No.3, brocas de 5/32", 3/16", 5/16", y 3/8", además de utilizar juego de machuelos, tanto de 3/16", como de 3/8", así como además se utilizó la rima cónica No 7 con 2 % de reducción, para estos últimos se procedió a lubricar con manteca y con el mínimo de revoluciones y manualmente, pero siempre cuidando su perpendicularidad con la cara maquinada.
- 6.- Se paso al fresado para hacer las cavidades de los insertos, así como las cajas de los tornillos donde era requerido para lo cual se utilizarón; cortador de vástago de  $\phi$  1.5" de 6 filos con insertos, para su desbaste y finalmente un cortador de vástago de acero rápido de  $\phi$  10mm para su afinado en el perimetro de la cavidad, así como en las cajas de los tornillos donde se requería.
- 7.- Se procedió al afinado de los semimoldes o porta insertos en la rectificadora plana para con ello obtener la medida de 180x180x32mm., además de montar los insertos para dar un último afinado a estos y evitar un mal cerrado debido al mal ajuste entre ellos.
- 8.- Una vez obtenido el molde ya cerrado, se procedió a sujetar bien, en la fresadora vertical, para posteriormente hacer el rebosadero para lo cual se utilizó broca de centros No.5,

y brocas de 1/4", 3/8", 1/2", y 3/4" para finalmente con un cortador de vástago de  $\phi$  20mm. dar afinado, así como con la lima cónica No. 3 con 2 % de reducción.

9.- Finalmente se matarán filos con avellanador de 90° y lima musa, para evitar posibles accidentes.

#### PERNOS CONICOS

Para asegurar un centrado correcto de los moldes y evitar el desajuste de estos con el paso del tiempo, se consideró oportuno disponer en la máquina de unos pernos cónicos y de esta manera lograr un autocentrado de las dos partes del molde en el momento de cerrarse.

Estos pernos se utilizarán con una reducción cónica del 2% debido a que para fabricarlos existen en el mercado tanto rimas como los mismos pernos. En la bibliografía se encuentra que éstos elementos son la base del centrado y que deben ser de acero templado para que su duración sea muy alta, (pero esto se debe principalmente a las cantidades de producción que se obtienen en las máquinas industriales) inclusive el cono hembra debe de llevar casquillos templados. Se decidió por maquinar éstos directamente en las placas ya que esta máquina no se utilizará para tan elevados volúmenes de producción por lo que el desgaste de los pernos será poco, además que el perno es de un alto costo

#### INSERTOS

Por economía, tamaño de la pieza y funcionalidad, se decidió que la cavidad de la pieza debería de maquinarse en un inserto, ya que se tendrá un ahorro de material y por lo tanto será económico. Es posible utilizar máquinas herramientas de control numérico y de esta forma obtener piezas con gran exactitud dimensional, además que brinda la posibilidad de hacerlos intercambiables y de esta

forma producir una gran variedad de formas con una misma máquina.

Para la fabricación de los moldes (insertos) se optó por trabajar con dos materiales acero H13 y fundición gris. El acero H13 porque es el material más recomendado para moldes de trabajo en caliente, cuyas características son mencionadas en el apéndice B. Estos aceros son caros y requieren ser recocidos antes de ser maquinados para bajar su dureza y mejorar su maquinabilidad. Debido a la geometría de la pieza a maquinar y a la dureza requerida de cortadores con inserto de carburo de tungsteno y de diámetro pequeño se decidió dejar los insertos de H13 para un trabajo de electroerosión. De manera simultánea se fabricarán insertos de fundición gris, que también es un material que se utiliza en la fabricación de moldes, además de ser económico y muy maquinable, lo cual permite maquinar cavidades con geometría irregular. Además éstos insertos pueden ser intercambiables. (Ver dibujo A6)

El proceso de fabricación de los insertos fué el siguiente:

- 1.- Se fabricó el modelo en madera y se mandó fundir con dimensiones de 75x75x18 mm.
- 2.- Una vez hecha la fundición se procedió a desbarbar, y eliminar la cascarrilla de la fundición ya que ésta es muy dura y trabajosa para maquinar, se utilizó esmeril.
- 3.- Se montó en la prensa de cepillo de todo, se niveló y se alineó la máquina.
- 4.- Desbaste y afinado de las 4 caras laterales hasta medidas de 70x70x16 mm. se empleó buril de acero rápido de 5/16" y la escuadra universal para verificar y asegurar la perpendicularidad de las caras, no se utilizó refrigerante debido a que la fundición gris no requiere de éste.
- 5.- Se desmontó y se verificó, posteriormente se volvió a montar y sujetar para el cepillado de las caras longitudinales.
- 6.- Desbaste y afinado de las caras longitudinales a un espesor de 12.25mm con parámetros de operación que se muestran en la ruta de trabajo.

- 7.- Se desmontó el inserto se limpió y verificó.
- 8.- Se procedió a marcar centros para realizar los barrenos roscados así como para hallar el centro del inserto se utilizó tinta, rayador escuadra, granete y martillo.
- 9.- Se montó el inserto en el taladro de banco y se efectuarán los barrenos con broca de 5/32".
- 9.- Se realizarón las roscas a  $\phi$  3/16"-24NC utilizando juego de machuelos de  $\phi$  3/16".
- 10.-Se desmontó limpió y verificó, y posteriormente se sujetó el inserto en el tornillo de banco para realizar los radios con R = 5 mm y matar filos.
- 11.-Una vez efectuada la operación anterior se procedió a la etapa de rectificado previo antes de realizarlo de manera conjunta con los semioides.

A continuación se presenta la ruta de trabajo para la elaboración de los insertos, así como los cálculos de parámetros de operación y tiempos de maquinado.

No.	Operación	Máquina	Herramienta de corte	Parámetros de operación	Herramienta general	Instrumentos de medición	Accesorios	Lubricante y refrigerante	Tiempo total
1	Montar inserto en prensa, revisar y alinear	Cepillo de codo		Operación técnica manual	Juego de llaves	Nivel	Prensa universal paralelos		10 min.
2	Cepillado de cantos y escuadrar (desbaste)	1	bunil 1/4"	Vc=10 m/min n=1700 rpm s=0.05 m/carr		Calibrador y Escuadra univ.	1	Propios de máquina	10 min.
3	Cepillado de cantos (afinado)	1	bunil 1/4" fko fresco	Vc=20 m/min n=3500 rpm s=0.05 m/carr		2	1	2	5 min.
4	Voltes y sujetar para continuar la operación	1			1	2	1	2	10 min.
5	Cepillado de cara y escuadrar (desbaste)	1	2	2		2	1	2	10 min.
6	Cepillado de cara (afinado)	1	3	3		2	1	2	5 min.
7	Desmontar, limpiar y verificar			1	1	2	tornillo de banco		5 min.
8	Marcar centros de barrenos roscados			1	Tinta, martillo punto de golpe	Calibrador	Marnal, trusian rayador		10 min.
9	Montar en isidro y barrenar a 5/32"	Isidro de columna	broca de centros No. 3 5/32"	Vc=24 m/min n=955 rpm s=0.05 m/min	Broquera con llave		1	2	10 min.
10	Realizar rosca interna	9	Juego de machuelos 3/16"		material No.5	Escuadra fija	1	2	15 min.
11	Desmontar, limpiar y verificar			1	1	2	7		5 min.

No.	Operación	Máquina	Herramienta de corte	Parámetros de operación	Herramienta general	Instrumentos de medición	Accesorios	Lubricante y refrigerante	Tiempo total
12	Hacer radios en esquinas $r=5 \text{ mm}$		lima bastarda lima nusa			plantilla de radios			25 min.
13	Montar en mesa magnética, y ajustar máquina	Rectificadora plana		1		8	mesa magnética	2	15 min.
14	Rectificado, desbaste y afinado	13	Muela D=250mm EK, SC 461	$V_c=20 \text{ m/seg}$ $v=2 \text{ m/min}$ $s=6 \text{ mm/corr}$				refrigeración abundante	25 min.
15	desmontar, limpiar y verificar			1		regla de pelo calibrador			5 min.
16	Marcar centro de seminolde			1	8	8	8		10 min.
17	Montar en fresa CNC y ajustar herramientas	Fresadora CNC		1	1	trusquín comparador	1	2	30 min.
18	Fresar cavidad del molde	17	fresa de corte frontal D=12mm(1/2") D=4 mm	$V_c=19 \text{ m/min}$ $S=100 \text{ mm/min}$ $n=955 \text{ rpm}$			1	Petroleo 2	10 min.
19	desmontar, limpiar y verificar			1	1	8	7		10 min.
20	Montar inserto en seminolde y ajustar		lima nusa lima nusa	1	juego de llaves allen	regla de pelo	7		5 min.
21	Trazar centros de botadores			1	7	7	7		10 min.

No.	Operación	Máquina	Herramienta de corte	Parámetros de operación	Herramienta general	Instrumentos de medición	Accesorios	Lubricante y refrigerante	Tiempo total
22	Taladrado de de barrenos de botadores D=4mm	9	brocas de centros No.3 D=4 mm	Vc=24 n/min s= 0.15 mm/rev n=955 rpm	9		1	2	15 min
23	Ensamblar molde y ajustar			1	20		7		20 min.
24	Barrenado del bebedero D=3/4"	9	brocas de centros No.5 1/4", 3/8", 1/2", 5/8", 3/4"	Vc=24 n/min s= 0.15 mm/rev n=955 rpm n=400 rpm	9	8	presas "C", 1	2	20 min.
25	Taladrado del canal de alimentación	9	brocas de centros No.3 D=4 mm	Vc=24 n/min s= 0.15 mm/rev n=955 rpm	9	8	24	2	15 min
26	Rinado del canal de alimentación	9	rino cónica No. 3 con reducción a 2 %	s=.05 mm/rev n=60 rpm	9	8	24	2	10 min.
27	Desmontar limpiar y verificar			1	20	2	7		20 min.
28	pulido del molde		lija de agua No. 600	1			7	agua	40 min.

CALCULO DE TIEMPOS DE MAQUINA

1.- Montar inserto en prensa, nivelar y alinear

Operación técnica manual

Tiempo total 10 min.

2.- Cepillado de cantos (desbaste)

Parámetros de operación:

$V_c = 10$  m/min.  
 $n = 47$  carr/ min.  
 $s = 0.001$  m/min.

Cálculos:

$$t_p = \frac{b}{s \times n} = \frac{2 \times L \times b}{V_c \times s} \quad [\text{min.}]$$

$$t_p = \frac{2 \times 0.1 \times 0.015}{10 \times 0.001} = 0.3 \text{ min.}$$

$t_p = 1.2$  min

$t_s = 5$  min.

$t_z = 3.8$  min.

Tiempo total 10 min.

3.- Cepillado de cantos (afinado)

Parámetros de operación:

$V_c = 20$  m/min.  
 $n = 95$  carr/ min.  
 $s = 0.001$  m/min.

Cálculos:

$$t_p = \frac{b}{s \times n} = \frac{2 \times L \times b}{V_c \times s} \quad [\text{min.}]$$

$$t_p = \frac{2 \times 0.1 \times 0.015}{20 \times 0.001} = 0.15 \text{ min.}$$

$t_p = 0.6$  min

$t_s = 3$  min.

$t_z = 1.4$  min.

Tiempo total 5 min.

4.- Voltear y sujetar para continuar operación.

Operación técnica manual

Tiempo total 10 min.

5.- Cepillado de cara y escuadrar (desbaste)

Parámetros de operación:

$V_c = 10$  m/min.  
 $n = 47$  carr/ min.



Cálculo:

$$s = 0.001 \text{ m/min.}$$

$$t_p = \frac{b}{s \times n} = \frac{2 \times L \times b}{V_c \times s} \quad [\text{min.}]$$

$$t_p = \frac{2 \times 0.1 \times 0.08}{10 \times 0.001} = 1.6 \text{ min.}$$

$$t_p = 3.2 \text{ min}$$

$$t_s = 5 \text{ min.}$$

$$t_z = 1.8 \text{ min.}$$

Tiempo total 10 min.

6.- Cepillado de cara (afinado)

Parámetros de operación:

$$V_c = 10 \text{ m/min.}$$

$$n = 47 \text{ carr/min.}$$

$$s = 0.001 \text{ m/min.}$$

Cálculo:

$$t_p = \frac{b}{s \times n} = \frac{2 \times L \times b}{V_c \times s} \quad [\text{min.}]$$

$$t_p = \frac{2 \times 0.1 \times 0.08}{20 \times 0.001} = 0.8 \text{ min.}$$

$$t_p = 1.6 \text{ min}$$

$$t_s = 3 \text{ min.}$$

$$t_z = 0.4 \text{ min.}$$

Tiempo total 5 min.

7.- Desmontar limpiar y verificar

Operación técnica manual

Tiempo total 5 min.

8.- Marcar centros de barrenos roscados

Operación técnica manual

Tiempo total 10 min.

9.- Montar en taladro y barrenar a  $5/32''$

Parámetros de operación:

$$V_c = 24 \text{ m/min.}$$

$$n = 955 \text{ rpm}$$

$$s = 0.15 \text{ mm/min.}$$

Cálculo de tabla No 4

$$t_p = 0.111 \text{ min/cm.}$$

$$t_p = 0.111 \times 1.5 = 0.1665$$

$$t_p = 0.666 \text{ min}$$

$$t_s = 7 \text{ min.}$$

$$t_z = 2.333 \text{ min.}$$

Tiempo total 10 min.

10.- Realizar rosca interna

Operación técnomanual

Tiempo total 15 min.

11.- Desmontar limpiar y verificar

Operación técnomanual

Tiempo total 5 min.

12.- Hacer radios en esquinas  $r = 5 \text{ mm}$ .

Operación técnomanual

Tiempo total 25 min.

13.- Montar en mesa magnética y ajustar máquina.

Operación técnomanual

Tiempo total 15 min.

14.- Rectificado desbaste y afinado

Parámetros de operación:

$V_c = 20 \text{ m/seg.}$

$v = 2 \text{ m/min.}$

$s = 6 \text{ mm/carr.}$

$L = 120 \text{ mm.}$

$i = 4 \text{ pasadas}$

$b = 120 \text{ mm.}$

Cálculos:

$$t_p = \frac{2 \times L \times b \times i}{v \times s}$$

$$t_p = \frac{2 \times 0.12 \times 0.12 \times 4}{2 \times 0.006} = 9.6 \text{ min.}$$

$t_p = 0.666 \text{ min}$

$t_s = 15 \text{ min.}$

$t_z = 9.333 \text{ min.}$

Tiempo total 25 min.

15.- Desmontar limpiar y verificar

Operación técnomanual

Tiempo total 5 min.

16.- Marcar centros de semimolde

Operación técnica manual

Tiempo total 10 min.

17.- Montar en fresa CNC y ajustar herramientas

Operación técnica manual

Tiempo total 30 min.

18.- Desmontar limpiar y verificar

Operación técnica manual

Tiempo total 10 min.

19.- Desmontar limpiar y verificar

Operación técnica manual

Tiempo total 10 min.

20.- Montar inserto en semimolde y ajustar

Operación técnica manual

Tiempo total 5 min.

21.- Trazar centros de botadores

Operación técnica manual

Tiempo total 10 min.

22.- Taladrado de barrenos de botadores  $D = 4$  mm.

Parámetros de operación:

$V_c = 24$  m/min.

$n = 935$  rpm

$s = 0.15$  mm/min.

Cálculo de tabla No 4

$t_p = 0.111$  min/ca.

$t_p = 0.111 \times 1.5 = 0.1665$

$t_p = 0.666$  min

$t_s = 12$  min.

$t_a = 2.333$  min.

Tiempo total 15 min.

23.- Ensamblar molde y ajustar

Operación técnica manual

Tiempo total 20 min.

24.- Barrenado del bebedero

Parámetros de operación:

$V_c = 24$  m/min.

$s = 0.15$  mm/min.

$n_1 = 955$  rpm.

$n_2 = 800$  rpm.

$n_3 = 660$  rpm.

$n_4 = 500$  rpm.

$n_5 = 400$  rpm.

Cálculo de tabla No 4

$tp_1 = 0.111$  min/cm.

$tp_2 = 0.13$  min/cm.

$tp_3 = 0.16$  min/cm.

$tp_4 = 0.21$  min/cm.

$tp_5 = 0.25$  min/cm.

$tp_1 = 0.111 \times 5 = 0.555$

$tp_2 = 0.13 \times 5 = 0.65$

$tp_3 = 0.16 \times 5 = 0.8$

$tp_4 = 0.21 \times 5 = 1.05$

$tp_5 = 0.25 \times 5 = 1.25$

$tp = 4.305$  min

$t_s = 12$  min.

$t_z = 2.695$  min.

Tiempo total 20 min.

25.- Taladrado del canal de alimentación

Parámetros de operación:

$V_c = 24$  m/min.

$n = 955$  rpm

$s = 0.15$  mm/min.

Cálculo de tabla No 4

$tp = 0.111$  min/cm.

$tp = 0.111 \times 1.1 = 0.122$

$tp = 0.122$  min

$t_s = 12$  min.

$t_z = 2.888$  min.

Tiempo total 15 min.

26.- Rimado del canal de alimentación

Operación técnica manual

Tiempo total 10 min.

27.- Desmontar limpiar y verificar

Operación técnomanual

Tiempo total 20 min.

28.- Pulido del molde

Operación técnomanual

Tiempo total 40 min.

$t_p$  = TIEMPO PRINCIPAL

$t_i$  = TIEMPO DE PREPARACION

$t_s$  = TIEMPO DE PRORATEO

### Cálculo de parámetros de operación para máquina fresadora CNC

Para fundición gris se tiene que de tablas se recomienda una velocidad de corte de:

$$V_c = 12 \text{ m/min}$$

calculando las rpm

$$n = \frac{12 \cdot 1000}{\pi \cdot 4} = 955 \text{ rpm}$$

Para acero se tiene que de tablas se recomienda una velocidad de:

$$V_c = 19 \text{ m/min}$$

calculando las rpm

$$n = \frac{19 \cdot 1000}{4 \cdot \pi} = 1510 \text{ rpm para fresa de } \phi 4 \text{ mm para desbaste}$$

$$n = \frac{19 \cdot 1000}{12 \cdot \pi} = 505 \text{ rpm para fresa de } \phi 12 \text{ mm}$$

cálculo de la velocidad de avance para fundición gris

para  $0.1 \text{ mm/rev}$

$$\text{avance} = 0.1 \cdot 955 = 95.5 \text{ mm/rev}$$

para  $0.05 \text{ mm/rev}$

$$\text{avance} = 0.05 \cdot 955 = 47.75 \text{ mm/rev}$$

En base a estos parámetros de operación y considerando la potencia de la fresadora de control numérico, hubo que efectuar pruebas para determinar la velocidad de avance, así como las revoluciones por minuto adecuadas, y en base a estas se determinaron los siguientes parámetros:

$$\text{avance} = 100 \text{ mm/min.}$$

$$\text{rpm} = 1000 \text{ rpm}$$

El programa de maquinado esta escrito en código "G".

N	G (M)	X (J)	Y (D)	Z (K)	F (L)	(T) (H)
00	92	-1000	-1000	1000		
01	M06	D600	S1000	00	T01	
02	00	3500	3500	1000		
03	00	3500	3500	100		
04	01	3500	3500	-50		40
05	25					L40
06	01	00	00	-50		40
07	25					L40
08	01	00	00	-50		40
09	25					L40
10	01	00	00	-50		40
11	25					40
12	00	00	00	3200		
13	00	-4500	-4500	00		
14	92	-1000	-1000	3000		
15	M06	D200	S1000	00	T02	
16	00	3500	3500	3000		
17	00	3500	3500	-150		
18	01	3500	3500	-250		40
19	25					60
20	01	00	00	-50		40
21	25					60
22	01	00	00	200		
23	00	-300	-1400	00		
24	01	00	00	-150		40
25	04					
26	01	600	00	00		80
27	01	00	00	-50		40
28	04					
29	01	-600	00	00		80
30	00	00	00	1300		
31	00	-4200	-3100	00		
32	92	-1000	-1000	1000		
33	M30					

SUBROUTINA DE DESBASTE

..						
40	91					
41	04					
42	04					
43	01	00	600	00	100	
44	02	600	-600		100	

45	02	-600	-600		100
46	02	-600	600		100
47	02	600	600		100
48	01	00	800	00	100
49	02	1400	-1400		100
50	02	-1400	-1400		100
51	02	-1400	1400		100
52	02	1400	1400		100
53	01	00	-1400	00	150
54	M17				

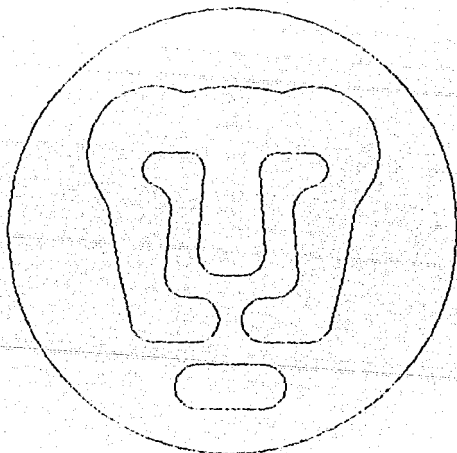
SUBROUTINA "MAQUINADO DEL PUMA"

60	91				
61	04				
62	04				
63	01	00	1100	00	100
64	03	-1400	-1400		100
65	M99	J=0	K=19		
66	03	-400	400		100
67	M99	J=53	K=90		
68	03	-400	-400		100
69	03	400	-40		100
70	M99	J=0	K=30		
71	01	146	-300	00	100
72	01	100	-600	00	100
73	01	100	-400	00	100
74	01	400	00	00	100
75	01	-100	00	00	100
76	02	-400	400		100
77	01	50	613	00	100
78	02	-350	350		100
79	M99	J=15	K=90		
80	02	350	350		100
81	01	250	00		100
82	02	350	-350		100
83	01	-50	-750	00	100
84	01	200	00	00	100
85	01	-50	750	00	100
86	02	350	350		100
87	01	250	00	00	100
88	02	350	-350		100
89	02	-350	-350		100
90	M99	J=0	K=75		
91	01	50	-613	00	100
92	02	-400	-400		100
93	01	-100	00	00	100
94	01	400	00	00	100
95	01	100	400	00	100
96	01	100	600	00	100
97	01	146	300	00	100
98	03	400	400		
99	M99	J=60	K=90		



100	03	-400	400		100
101	03	-400	-400		100
102	M99	J=0	K=37		
103	03	-1400	-1400		100
104	M99	J=71	K=90		
105	01	00	-1100	00	100
106	M17				

A continuación se muestra el dibujo de la pieza elaborada por el programa de control numérico.



" P U M A "

"SUBROUTINA MAQUINADO DE LA CARA POSTERIOR DEL MOLDE F I "

N	G		X		Y		Z	F	
	(M)	(J)	(D)	(K)	(S)	(L)		(T)	(H)
00	92		-1000		-1000		1000		
01	M06		D600		S1000		00		T01
02	00		3500		3500		1000		
03	00		3500		3500		100		
04	01		3500		3500		-50		40
05	25								L40
06	01		00		00		-50		40
07	25								L40
08	01		00		00		-50		40
09	25								L40
10	01		00		00		-50		40
11	25								40
12	00		00		00		100		
13	00		-1200		1000		00		
16	01		00		00		-250		40
17	25								60
18	00		00		00		100		
19	00		-800		2000		00		
20	01		00		00		-100		40
21	25								60
22	00		00		00		200		
23	00		800		2000				
24	01		00		00		-150		40
25	25								70
26	00		00		00		100		
27	00		-800		2000		00		
28	01		00		00		-100		40
29	25								70
30	00		00		00		1200		
31	00		-4700		-3500		00		
32	92		-1000		-1000		1000		
15	M30								

SUBROUTINA DE DESBASTE

..

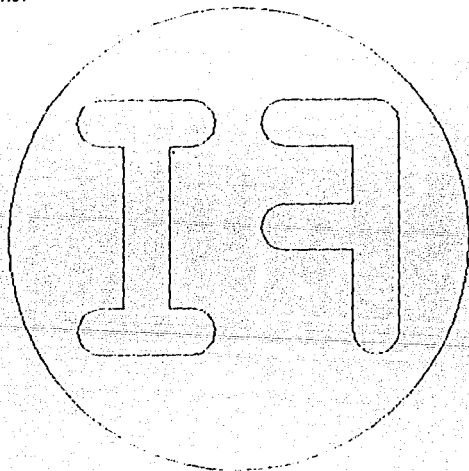
40	91								
41	04								
42	04								
43	01		00		600		00		100
44	02		600		-600				100
45	02		-600		-600				100
46	02		-600		600				100
47	02		600		600				100
48	01		00		800		00		100
49	02		1400		-1400				100

50	02	-1400	-1400		100
51	02	-1400	1400		100
52	02	1400	1400		100
53	01	00	-1400	00	150
54	M17				

SUBROUTINA LETRAS F I

60	04				
61	04				
62	01	800	00	00	100
63	01	-400	00	00	100
64	01	00	-2000	00	100
65	01	-400	00	00	100
66	01	800	00	00	100
67	M17				

70	04				
71	04				
72	01	800	00	00	100
73	01	00	-900	00	100
74	01	-800	00	00	100
75	01	800	00	00	100
76	01	00	-1100	00	100
77	M17				



" F I "

#### BASE DE LA MAQUINA

Como base de la máquina se utilizó un perfil de acero estructural con forma de "U", ya que de esta forma se obtiene una base que no es demasiado pesada, no se flexiona por el peso de los moldes y tiene una gran estabilidad, además de la facilidad de conseguirse, que en comparación a una placa de acero, esta debería, de alguna manera, soportar y resistir la flexión ocasionada por el peso del molde y demás accesorios.

Estos perfiles estructurales generalmente son laminados en caliente, y su contenido de carbono esta entre 0.10 a 0.25 %, y debido a estas características son muy maquinables y dúctiles. De acuerdo a las necesidades de diseño, este material las cumple satisfactoriamente. (Ver dibujo A7)

El maquinado que se realizó fué el siguiente:

- 1.- Utilizando cepillo de codo se desbastó la superficie para eliminar la superficie rugosa con un desbaste de 1.5 mm
- 2.- La cara superior se afinó con lija para dejar una superficie libre de rugosidades y permitir que corriese con libertad el semimolde.
- 3.- Se trazaron y perforaron los barrenos para sujetar mediante tornillos a semimolde fijo, escuadras, guía T, y la base soporte .Se utilizaron broca de centros No.3, Broca 1/4", 3/8", y 3/16".
- 4.- Se procedió a matar los filos, y ajustar los barrenos.

#### BASE SOPORTE DEL TORNILLO

La base-soporte del tornillo se fabricó de fundición gris colada por el método de arena en verde, ya que este material tiene buenas propiedades mecánicas para éste fin. Esta pieza de la máquina debería llevar un roscado interno pero debido a la dificultad para roscar la cavidad de esta base se optó por que la rosca fuera otro inserto del mismo material para de esta forma se facilitara su fabricación y maquinado.

Se eliminó la opción de fabricar el soporte por medio de partes

de acero soldado, debido al espesor de algunas partes que podrían deformarse y por las tensiones internas que causa la soldadura. Se hizo el modelo en madera, para posteriormente mandar a fundirlo, y una vez obtenido se procedió a hacer el maquinado. (Ver dibujo A7)

- 1.- Desbarbar y eliminar rebabas.
- 2.- Desbaste de las caras que requirieron de maquinado.
- 3.- Trazado de centro de ejes, y barrenos de fijación.
- 4.- Utilizando fresadora universal se realizó barreno para la tuerca.
- 5.- Se realizaron los barrenos de los agujeros de sujeción.
- 6.- Se colocó la tuerca ya roscada por medio de presión y se realizaron los ajustes necesarios.

#### MANIVELA

Para la manivela del tornillo se eligió un pequeño volante, el cual permite un fácil manejo. Se utilizó el aluminio por su buena resistencia.

El volante se fabricó por medio de fundición en verde utilizando como modelo un volante de máquina, una vez que se fabricó el molde, se fundió, posteriormente se eliminó el rebosadero, rebabas etc., y se procedió a barrenar el centro del volante así como a ajustar la geometría utilizando lima basta, fina. Además se fabricó un manguito para poder utilizarlo como manivela.

(Ver dibujo A8)

#### CRUCETA

Para poder repartir de manera más uniforme la fuerza de cierre proporcionada por el tornillo, se construyó una cruceta y de esta manera tener distribuida la fuerza en el centro y en la superficie de todo el molde, evitando de esta forma el mal cerrado de las placas del molde o deformaciones por esfuerzos variables en las placas. Las piezas de esta cruceta se fabricaron de acero al carbono en forma de solera.

A continuación se presenta la memoria de cálculos teóricos para determinar el tiempo de solidificación de la pieza y así poder determinar el tiempo del ciclo de trabajo.

Los siguientes cálculos se basaron en las consideraciones teóricas de diseño que se encuentran en el apéndice C.

Para aluminio:

$$\Delta H_f = 95 \text{ cal/gr}$$

$$C_e = 0.26 \text{ cal/(gr } ^\circ\text{C)}$$

$$\rho = 2.7 \text{ gr/cm}^3$$

$$T_f = 660 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Para acero:

$$C_e = 0.16 \text{ cal/(gr } ^\circ\text{C)}$$

$$\rho = 7.3 \text{ gr/cm}^3$$

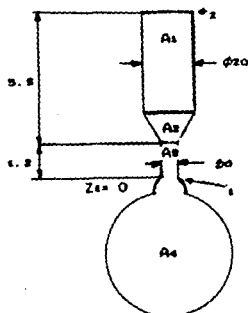
$$K = 0.07 \text{ cal/(Cm } ^\circ\text{C S)}$$

Para el aluminio:

$$t_e = \frac{\pi}{4} \left( \frac{\rho_c \Delta H_f}{T_m - T_o} \right)^2 \left( \frac{1}{K_m \rho_m C_m} \right) \left( \frac{V}{A} \right)^2$$

$$t_s = \left( \frac{\pi}{4} \right) \left( \frac{2.7 \times 95}{750 - 600} \right)^2 \left( \frac{1}{0.07 \times 7.3 \times 0.16} \right) \left( \frac{V}{A} \right)^2$$

$$t_s = 28.08 \left( \frac{V}{A} \right)^2 \text{ seg}$$



Para la pieza:

Volumen:

$$V_p = \pi r_i^2 h + \left( \pi r_i^2 h / 2 \right)$$

$$V_p = \pi (2)^2 (0.4) + \frac{\pi (0.5)^2 (0.4)}{2}$$

$$V_p = 5.1836 \text{ cm}^3$$

Area:

$$A_p = A_1 + A_2$$

$$A_p = \pi r_i^2 + \frac{\pi r_i^2}{2}$$

$$A_p = \pi (2)^2 + \frac{\pi (0.5)^2}{2}$$

$$A_p = 12.96 \text{ cm}^2$$

$$\left( \frac{V}{A} \right)_{\text{pieza}} = \frac{5.1836}{12.96}$$

$$\left( \frac{V}{A} \right)_{\text{pieza}} = 0.399 \text{ cm}$$

Por lo tanto el tiempo de solidificación de la pieza será:

$$t_s = (28.08) (0.399)^2$$

$$t_s = \underline{4.49 \text{ seg}}$$

Para el rebosadero:

$$V_m = V_1 + V_2 + V_3$$

$$= \pi r_i^2 h_i + \frac{\pi h}{12} (D^2 + Dd + d^2) + \pi (0.3)^2 (1.2)$$

$$= \pi (1)^2 (4.088) + (\pi/12) (1.212) (1^2 + (1)(1.3) + (0.3)^2) + \pi (0.3)^2 (1.2)$$

$$= 12.843 + 0.441 + 0.339$$

$$V_m = 13.623 \text{ cm}^3$$

Area:

$$A_m = A_1 + A_2 + A_3$$

$$= d_i h_i + \frac{d_i + d_b}{2} h_b + d_b h_b$$

$$= 2(4.088) + (1.212) \left( \frac{2+0.6}{2} \right) + (0.6)(1.2)$$

$$A_R = 10.4716 \text{ cm}^2$$

$$\left( \frac{V}{A} \right)_{\text{rebasadero}} = \frac{13.623}{10.4716}$$

$$\left( \frac{V}{A} \right)_{\text{rebasadero}} = 1.301 \text{ cm}$$

El tiempo de solidificación del rebasadero será:

$$t_s = (28.08)(1.301)^2$$

$$t_s = 47.53 \text{ seg}$$

En el caso más crítico de solidificación se tiene:

$$\left( \frac{V}{A} \right)_{\text{canal de alimentación}}$$

Para el volumen:

$$V_c = \pi r_g^2 h_g$$

$$= \pi(0.3)^2(1.2)$$

$$V_c = 0.339 \text{ cm}^3$$

Para el área:

$$A_c = (0.6)(1.2) = 0.72 \text{ cm}^2$$

$$\left( \frac{V}{A} \right)_c = \frac{0.339}{0.72}$$

$$\left( \frac{V}{A} \right)_c = 0.554 \text{ cm}$$

Entonces el tiempo de solidificación será:

$$t_s = 28.08(0.554)^2$$

$$t_s = 8.623 \text{ seg}$$

La transferencia de calor será:

$$Q = K A \Delta T / \Delta x$$

$$= K A \left( \frac{T_c - T_{\text{media moldes}}}{X} \right)$$

$$K_{\text{cero}} = 46.5 \text{ W/(m K)}$$

$$\text{Area} = 0.18 \times 0.18 = 0.0324 \text{ m}^2$$

$$T_c = \text{Temp de colada} = 750^\circ\text{C}$$



$T_m$  = Temp. operación moldes =  $250^{\circ}\text{C}$

$X$  = Ancho de las placas =  $0.05 \text{ m}$

El calor transferido por cara será:

$$Q = 46.5(0.0324) \left( \frac{750 - 250}{0.05} \right)$$

$$Q = \underline{753.3 \text{ W}}$$

El calor a evacuar por colada será:

$$Q_n = G (C_e \Delta T + \Delta H_f)$$

$G$  = peso de la pieza incluido rebosadero

$C_e$  = Calor específico promedio

$\Delta T$  = Dif. de temperatura entre el vaciado y colada

$\Delta H_f$  = Calor de fusión

La masa de la pieza será:

$$\rho = \frac{m_T}{V_T} \text{ entonces } m_T = \rho V_T$$

$$m_T = (2.6999)(18.8066)$$

$$m_T = 50.76 \text{ gr}$$

$$C_e = 0.904 \times 0.2388$$

$$C_e = 0.216 \text{ cal/(gr } ^{\circ}\text{C)}$$

$$Q_n = 50.76 [(0.216)(750-600)+95]$$

$$Q_n = \underline{6466.824 \text{ cal}}$$

$$Q_n = \underline{19.58 \text{ KJ}}$$

## CAPITULO VI

### PRUEBAS, CORRECCIONES AL DISEÑO Y RESULTADOS

#### PRUEBAS CON RESINAS EPOXICAS

Una vez concluidas las etapas de fabricación y ensamble de la máquina, se procedió a realizar pruebas con resinas epóxicas, para así comprobar que los moldes no tuvieran fugas de fluido en el plano de partición. Se eligieron resinas epóxicas debido a su alta fluidez y rapidez de solidificación. En éstas pruebas se pudo verificar que el cierre de los moldes fue correcto, ya que las piezas extraídas no presentaron rebabas a su alrededor.

#### PRUEBAS CON PLOMO

Como se mencionó en un capítulo anterior, la máquina se diseñó para trabajar con aleaciones de bajo punto de fusión, por lo cual para las primeras pruebas se eligió plomo. Este tiene un punto de fusión muy bajo, alrededor de los 327°C y una elevada densidad 11.34 gr/cm<sup>3</sup>, además presenta una alta fluidez. Como es de esperarse entre más fluido sea un metal fundido, mejor llenará los moldes. El que se haya utilizado este material, también ayudó para determinar que el cierre de los moldes fuese el correcto, ya que la elevada densidad del plomo genera altas fuerzas de fuga y así asegurar la calidad.

Otro material que se pudo haber utilizado para pruebas es el estaño, ya que su punto de fusión es muy bajo, alrededor de 232°C, y una densidad de 7.2 gr/cm<sup>3</sup>, pero debido a que es un material muy maleable y dúctil, no es usual usarlo como material para fundición.

La fusión del plomo se llevó a cabo en un horno eléctrico para tener un mejor control de la temperatura y se fundió a una temperatura de 400°C, una vez fundido se sacó del horno y se eliminó la escoria, procediéndose a llevar a cabo el vaciado en el molde y esperar que la pieza solidificara.

Como se mencionó, los moldes fueron previamente calentados para evitar choques térmicos y se pudiera generar una solidificación prematura. La temperatura de operación de los moldes permanentes se elevó aproximadamente a la mitad de la temperatura de fusión

del metal a vaciar.

El calentamiento de estos se efectuó por aplicación directa de la flama del soplete a la superficie del molde, midiéndose continuamente la temperatura de la superficie de este con un termopar, hasta que se alcanzó una temperatura de 200°C. Se utilizó el soplete con el fin de formar una capa de hollín como recubrimiento y así evitar que la pieza se hubiera adherido al molde.

Una vez efectuado el vaciado y solidificada la pieza se extrajo de los moldes y se estudió para ver que fallas se presentaron. Se observó que la pieza estaba exenta de fallas, los contornos, y los detalles de la cavidad del molde, así como los ángulos rectos y los radios de curvatura se obtuvieron muy bien definidos. También se verificó una vez más que el cierre de los moldes fué correcto, ya que la pieza no presento rebabas a su alrededor. Se hicieron varias pruebas más, obteniendose los mismos resultados de la primera pieza. Ver fotografias 6.1

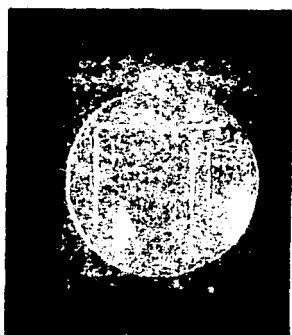
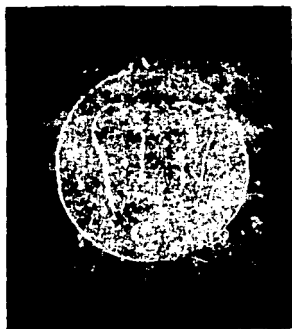


Foto 6.1 Pruebas con plomo

#### PRUEBAS CON ALUMINIO

El metal para el que principalmente fue diseñada la máquina fue el aluminio, pero como se mencionó antes puede trabajarse con cualquier metal de bajo punto de fusión, incluso plástico y resinas epóxicas, por lo cual la prueba siguiente se llevó a cabo con aluminio directamente.

El aluminio funde a una temperatura de  $660^{\circ}\text{C}$ , pero la temperatura de colada se recomienda sea  $50^{\circ}\text{C}$  más alta que la temperatura de fusión, por lo que se llevó el horno a  $720^{\circ}\text{C}$ . Una vez fundido el metal y libre de escoria, se efectuó el vaciado en el molde cerrado y previamente calentado, en forma similar como en el caso del plomo. El metal fundido llenó la mitad de la altura del canal de colada. Esta colada tuvo un rechupe sano, por lo cual se pensó que la pieza se había formado correctamente.

Al extraer del molde la pieza solidificada, se observó que no estaba del todo formada, es decir, que el metal fundido no llenó completamente al molde. Ver fotografías 6.2

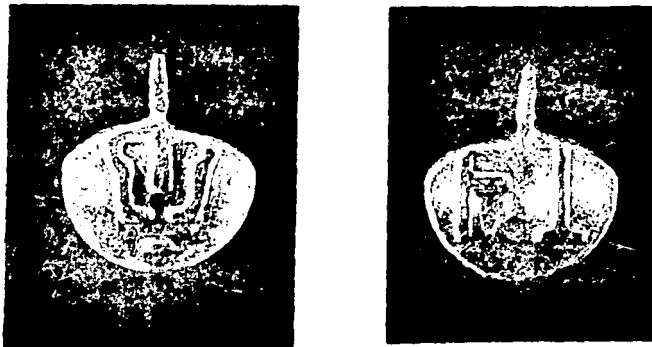


Foto. 6.2 Prueba con aluminio  
Muestra falla en el llenado del molde

Después de realizar otras pruebas con el mismo resultado, se determinó que el error se podría deber a dos causas. El metal fundido pudo no haber llenado al molde, debido a que la

temperatura de precalentado de los moldes no era la adecuada (demasiado baja), y esto trajo como consecuencia que el metal fundido solidificara muy rápido dentro del canal de colada. La otra causa probable podía deberse a un mal diseño de la colada, en otras palabras, que la altura y el diámetro de ésta no eran los adecuados.

En la prueba posterior se decidió a elevar la temperatura de los moldes, y una vez alcanzada la temperatura entre los 350 y 400°C en los moldes, se procedió a realizar el vaciado del aluminio en el molde. Una vez solidificado el aluminio dentro del bebedero, se extrajo la pieza.

De esta prueba se observó que la pieza obtenida salió incompleta en su parte superior, por lo cual al realizar otras pruebas y ver que se obtenían los mismos resultados, se llegó a la conclusión que la falla se debía a un mal diseño de la colada. Ver figura 6.1.

El primer diseño del canal de colada tuvo las siguientes dimensiones:

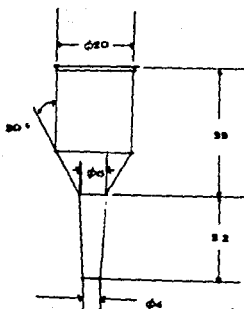


Fig. 6.1 Dimensiones de la colada original

Por lo anterior se decidió cambiar el diámetro del cono del bebedero, este cono tuvo un diámetro de 6 mm en la parte superior y de 4 mm en la parte inferior, determinándose que habría de dejarlo a un diámetro de 6 mm a todo lo largo y el bebedero de mayor diámetro dejarlo igual, por la proporción existente entre el espesor de la pieza y el bebedero, Como se sugiere en capítulos anteriores.

Una vez efectuadas las correcciones, se continuó con las pruebas, por lo cual se calentaron los moldes con el soplete y una vez alcanzada la temperatura de 400°C en éstos, se efectuó el vaciado del aluminio libre de escoria al bebedero.

Ya solidificada la pieza, se extrajo del molde para así verificar que ésta se encontraba completamente formada. En esta pieza se notó que el llenado fué completo, pero con otro nuevo defecto y éste fue, que las caras de la pieza presentaron rechupes muy marcados en la parte media. Ver fotografías 6.3

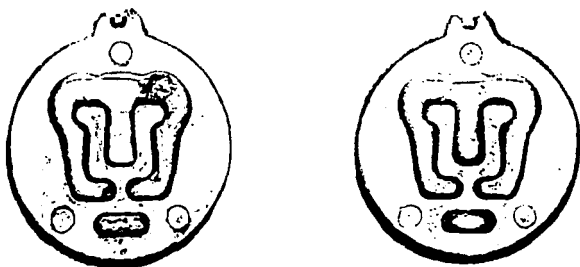


Foto. 6.3 Pruebas aluminio  
Muestra los rechupes en las caras de la pieza

En pruebas posteriores, se elevó la temperatura de los moldes por medio del soplete y después se efectuó el vaciado del aluminio al molde, y ya solidificada la pieza, se extrajo y se observó que

seguida presentando el mismo defecto.

Como se sabe, el rechupe en las piezas, son cavidades que se forman en el interior o exterior de las piezas moldeadas y que tienen por causa la disminución de volumen que experimenta el metal fundido, durante la solidificación y el enfriamiento. Esto es, los rechupes son resultado de la contracción del metal en el momento de ir solidificando, este defecto siempre se presentará en la pieza en caso de que no exista un depósito de metal líquido que compense a ésta contracción. Para esto el bebedero que es una prolongación de la pieza tiene como misión servir de reserva de metal líquido, lo cual, en el momento de la solidificación, debe llegar en cada instante a compensar la pérdida de volumen que resulta de las diversas contracciones que experimenta el metal.

De otras pruebas se notó, que el rechupe se debió a un mal diseño del bebedero, en moldes metálicos donde la solidificación es más rápida, y esto se vió al evaluar las condiciones que debe reunir el bebedero para desempeñar correctamente su función.

Estas condiciones son:

- 1.- El bebedero (la mazarota) debe constituir, en la pieza moldeada un punto caliente. Es decir que es preciso que el bebedero permanezca caliente más tiempo que la pieza a la que alimenta.
- 2.- El bebedero debe estar unido a la parte a alimentar por un paso de sección suficiente. Todo estrangulamiento, toda sección insuficiente o muy alta y estrecha, contribuirá a acelerar el enfriamiento del metal en las partes reducidas. En un momento dado, la aleación se solidificará en el lugar de la sección estrecha, cuando aún en el centro de la pieza este todavía líquido.
- 3.- El bebedero debe estar colocado siempre que sea posible, por encima de la parte a alimentar. De éste modo se garantiza que la cavidad del molde será llenada completamente, debido a la fuerza de gravedad.

Al hacer la valuación de estos puntos en el bebedero de la máquina se concluye que el segundo punto es muy importante, ya que en el diseño (como se ve en la figura anterior), el cilindro de 6mm de diámetro es muy largo (lo cual aleja la reserva de metal líquido del bebedero), esto disipa mucho calor (punto 1) y

solidifica antes que la pieza, causando que aparezca el rechupe.

Se decidió hacer más profunda a la sección del que tenía un diámetro de 20 mm, reduciendo la longitud del bebedero en la sección de 6 mm de diámetro. Si la longitud del bebedero de mayor sección se incrementaba hasta la entrada de la cavidad de la pieza, el cambio de sección sería muy brusco causando mucha turbulencia en el vaciado, lo cual daría un acabado superficial deficiente.

Las dimensiones del bebedero se dejaron como se muestra en la figura 6.2.

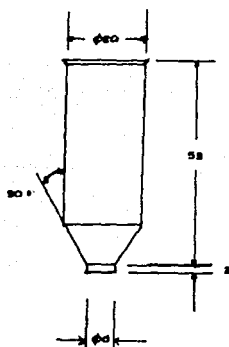


Fig. 6.2 Dimensiones definitivas del bebedero

Una vez corregidas las dimensiones del bebedero, se efectuarán otras pruebas para comprobar que el nuevo diseño cumplía su función.

Para estas nuevas pruebas se cambió el método de calentamiento de los moldes, ya que el método de calentar el molde por medio de soplete no fué el óptimo, debido a que no se tuvo un calentamiento uniforme en toda la superficie del molde. Esto quiere decir, que



se descuidaba la temperatura del bebedero por calentar la cavidad del molde y visceversa, esto también ocasionaba que el aluminio solidificara muy rápido.

Se investigó que métodos alternativos se recomendaban para precalentar moldes, encontrándose dos métodos accesibles a las necesidades de la máquina, uno de ellos era el utilizar resistencias eléctricas y el otro consistía en calentar trozos de acero hasta una temperatura de 800°C, y colocarlos frente a los moldes hasta que estos alcanzaran una temperatura de 400°C aproximadamente. Este segundo procedimiento no es muy conveniente ya que no es cómodo ni seguro trabajar a esta temperatura.

Como la máquina es para un uso con fines didácticos, hubo de encontrar un método que no fuese peligroso e incómodo en su manejo, por lo cual se tomó la decisión de utilizar resistencias de unas parrillas eléctricas para el precalentado de los moldes.

Las parrillas eléctricas comerciales cuentan con la capacidad suficiente para generar el calor necesario, se estimó que este tipo de parrillas pueden ser capaces de hasta fundir aluminio en un intervalo de tiempo grande, ya que pueden alcanzar temperaturas por encima de 600°C, siendo más que suficiente para el precalentado de los moldes.

El siguiente paso fue determinar el tiempo promedio que tardan los moldes para alcanzar una temperatura alrededor de 400°C, el tiempo promedio fué de 40 minutos, lo cual fue aceptable, teniendo en cuenta que el calentamiento fue uniforme en todo el molde. Esto llevó a la conclusión de que el método es adecuado para esta máquina, aunque con una mayor potencia calórica podría reducirse el tiempo de calentamiento.

Ya realizadas las correcciones en el bebedero y solucionado el problema de calentamiento de los moldes, se efectuaron pruebas para verificar si estas modificaciones fueron correctas.

El aluminio se calentó a una temperatura de 750°C y se vació en los moldes, ya solidificada la pieza se extrajo y se observó que no presentó rechupes en las caras de la pieza sino que éstas se presentaron en el bebedero, lo cual indicó que las modificaciones al diseño fueron correctas.

La pieza mostró defectos en los bordes, éste defecto consistía

en que no se definieron completamente, sino que se obtuvieron redondeados y con un espesor menor en la parte superior de la pieza, éste segundo defecto en la pieza indicaba que el aluminio solidificaba rápido, dando lugar a que no llenara la cavidad del molde en su totalidad.

Para corregir este defecto, se tomó la decisión de no modificar el diseño del bebedero, sino elevar la temperatura de los moldes o en su defecto elevar la temperatura de vaciado. Elevar la temperatura de los moldes no fue adecuado ya que tomaba mucho tiempo el llegar a 450°C, si se compara con el tiempo que tarda el aluminio en elevar su temperatura por encima de 750°C.

Es claro que si se eleva la temperatura de vaciado del aluminio, el enfriamiento dentro del bebedero sera más lento, ya que la cantidad de calor suministrada es mayor.

En la siguiente prueba, la temperatura de vaciado del aluminio se elevó a 800°C, después del vaciado y ya solidificada la pieza, se extrajo y se observó si se corrigieron los defectos, pudiendose ver que los bordes se encontraban mejor definidos, pero seguían mostrando un menor espesor en la parte superior, pruebas posteriores mostrarón los mismos resultados, lo que llevó a decidir a trabajar a una temperatura de vaciado más alta.

La temperatura que se eligió fue de 850°C, se hizo el vaciado y una vez solidificada la pieza se extrajo y se observó que esta quedaba completamente formada, es decir, no mostró rechupes y los bordes se encontraron bien definidos y con un espesor uniforme. Ver fotografías 6.4

A pesar del buen resultado obtenido en la prueba anterior, se decidió probar con una temperatura de vaciado de 900°C, después de vaciar en el molde y dejar solidificar, se extrajo la pieza y se observó que presentaba un rechupe muy marcado y grietas en la superficie. En pruebas posteriores a la misma temperatura de vaciado y temperatura de operación del molde se obtuvieron resultados semejantes, de lo cual se deduce que ésta temperatura de vaciado es muy alta con respecto a la temperatura del molde, lo que tiene como consecuencia un choque térmico, dando lugar a que el aluminio solidifique rápidamente, causando un llenado incompleto.

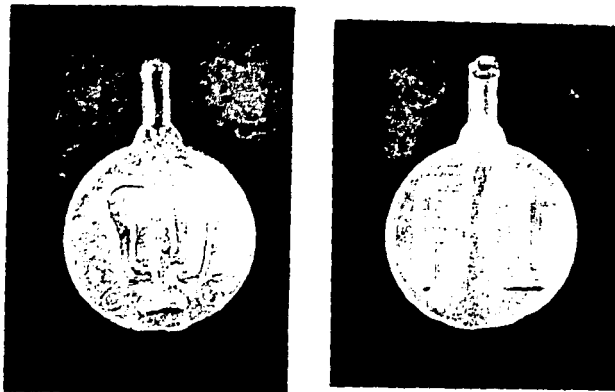


Foto 6.4 Pruebas con aluminio  
Muestra el resultado de las pruebas definitivas

Las siguientes pruebas se realizaron vaciando el aluminio a temperaturas entre 800 y 850°C, para ver que resultados se obtenían. De éstas se pudo observar que el acabado superficial fue excelente en el rango de temperaturas de 830 a 850°C por lo que se eligió la temperatura promedio de 840°C para el caso de ésta máquina.

Dentro del proceso de fundición de la máquina, un factor muy importante para obtener buenos resultados es mantener uniforme la temperatura de los moldes, ya que de esto depende mucho el acabado superficial y el correcto llenado, así como la vida de los moldes.

Esto pudo observarse, al efectuar las pruebas a una temperatura de 850°C y los moldes a la temperatura de 400°C, se observó que éstos disminuían rápidamente su temperatura, debido al tiempo que se perdía al fundir aluminio en un solo crisol, lo cual lleva a recomendar que después de 3 vaciadas los moldes deben ser recalentados. Para éste caso particular el tiempo de calentamiento de los moldes será de 20 minutos.

De lo anterior se deduce que para obtener resultados satisfactorios con la máquina de fundición se recomienda trabajar bajo los siguientes pasos:

- 1.- Calentar el horno a 840°C aproximadamente.
- 2.- Cuando el horno se encuentre a unos 200°C, meter el crisol con la cantidad suficiente de aluminio.
- 3.- Precalentar los moldes utilizando las parrillas eléctricas por un lapso de 40 minutos.
- 4.- Una vez alcanzada la temperatura de 400°C cerrar los moldes.
- 5.- Simultáneamente sacar el crisol del horno, eliminar la escoria y hacer el vaciado en los moldes.
- 6.- Llenar nuevamente el crisol de aluminio y meterlo en el horno.
- 7.- Una vez que solidificó la pieza extraerla.
- 8.- Después de tres coladas calentar los moldes por un espacio de 20 minutos.

Las fotografías 6.5 muestran la falla que ocasiona el molde, cuando está a una temperatura de operación baja.

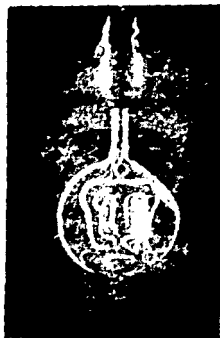


Foto. d. 5 Prueba con aluminio  
Muestra la falla que ocasiona un molde frío

La fotografía siguiente muestra la escala natural de la pieza.

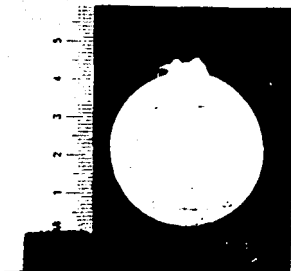


Foto. d. 6 Pruebas aluminio  
Muestra la escala natural de la pieza

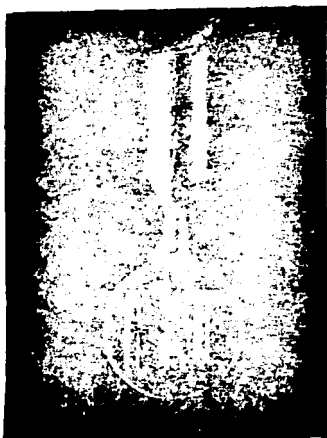


Foto. d. 7 Pruebas con aluminio  
Muestra la falla que se presenta al tener un molde mal cerrado

## CONCLUSIONES

1.- De todo lo visto anteriormente se pueden apreciar los elementos que dieron la realización del presente trabajo, ésto es investigación referente a los procesos de fundición, así como lo relacionado específicamente a la fundición en molde permanente visto con mayor detalle, lo cual proporcionó los elementos necesarios para lograr diseñar una máquina que reuniese las características necesarias para lograr el objetivo de este trabajo, es decir, cumplir con los fundamentos básicos de una máquina de fundición en molde permanente por gravedad semejante a las de producción industrial.

2.- Este trabajo también es importante, ya que como se ve a lo largo de los capítulos, se hace una reseña de los demás procesos de fundición marcando las ventajas y desventajas de éstos, lo que puede hacer del presente trabajo un manual de consulta sobre los diferentes métodos de fundición, así como los defectos que se pueden presentar en las piezas y la manera de corregirlos.

3.- En el desarrollo de este trabajo se pudo visualizar que para la fabricación de una máquina, se deben utilizar todos los tipos de máquinas herramientas (tornos, fresadoras, taladro de columna, cepillos, rectificadora, máquinas de control numérico, etc.).

4.- Un punto muy importante es la contribución que se hace con éste trabajo al desarrollo de equipo didáctico necesario en los laboratorios, ya que éstos sólo cuentan con los equipos para hacer fundición de aluminio por el método tradicional de arena en verde, e inyección de plástico en moldes. La máquina se diseñó de modo que su manejo y mantenimiento fuera lo más sencillo posible, y que a su vez ejemplificara el proceso de fundición en molde permanente. También se pueden comparar las similitudes, ventajas y desventajas entre éste proceso y el de fundición de arena en verde que se lleva a cabo en las prácticas.

5.- Otra contribución importante es la de pretender que esta máquina sirva como un apoyo para la comprensión del proceso de fundición en molde permanente, que ayudará en cierta forma para que los futuros ingenieros refuercen sus conocimientos teóricos mediante la aplicación práctica de la F.M.P.

6.- Otra contribución de éste diseño es el intercambio que se puede hacer de los moldes, ya que la cavidad de éstos fué maquinada en insertos, lo cual es útil, ya que se puede ampliar la variedad de formas logrando con esto mayor versatilidad en éste proceso de fundición.

7.- En lo que se refiere a la etapa de pruebas, hubo una serie de problemas que se presentaron al trabajar con metales de diferentes propiedades físicas, como en el caso del plomo el cual no presentó dificultades en ningún aspecto como son; rechupes, grietas, falta de llenado, fugas de metal, etc. En el caso del aluminio se presentaron diversos problemas, siendo uno de estos la falta de llenado del molde, el cual fué ocasionado por un mal diseño del sistema de alimentación, solucionándose como se menciona en el capítulo anterior. Lo anterior da a entender que los problemas presentados aquí, también pueden presentarse en cualquier proceso de fundición y una vez bien identificados pueden solucionarse en base al análisis que se hace de las causas que lo provocan. Este análisis debe llevarse a cabo basándose en los problemas y soluciones que se describen en la literatura referente a éste tema.

B.- Comparando las piezas obtenidas por el método de fundición en molde permanente, contra los métodos tradicionales (fundición de arena en verde) que se utilizan en la enseñanza de los procesos de fundición en la facultad, se puede afirmar que el acabado superficial es mejor, no hay distorsión, el tiempo de producción es menor, mayor precisión dimensional, no hay erosión del molde, inclusiones de óxido, rompimiento de los bordes del molde etc.

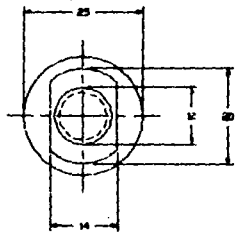
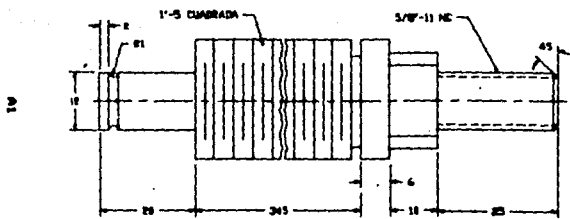
9.- También se puede afirmar que la calidad de las piezas obtenidas por éste método (F.M.P) es comparable a las obtenidas por método de fundición a presión. Como se ve en los cálculos realizados en el capítulo V, ésta máquina con dispositivos adecuados puede combinar la fundición por gravedad con la fundición a presión, además de que con esta máquina puede hacerse que el proceso sea semiautomático.

10.- Una recomendación importante que se hace para poder trabajar de una manera más óptima y poder observar que esta máquina puede llegar a utilizarse para una producción en serie, es el de disponer de metal líquido de una manera constante para poder reducir el tiempo del ciclo de trabajo.

APENDICE A

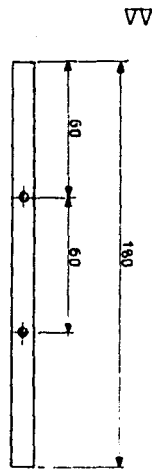
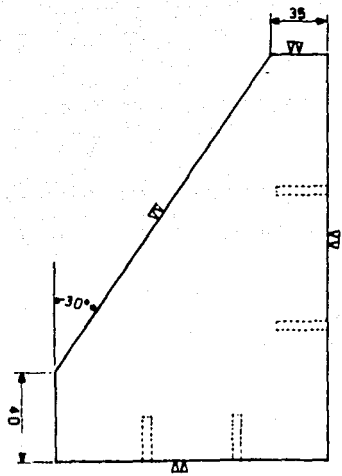
DIBUJOS



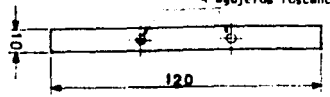


DESIGNER	J. J. J.	MATERIAL	ACEITE SAE 10W	15284-11.5
DESIGN	ACILU EN UNIDADES A. M. NEG. DIA. 51	DRAWING	1/81	11110-
ESPECIFICACIONES	ESPECIFICACIONES			1/81

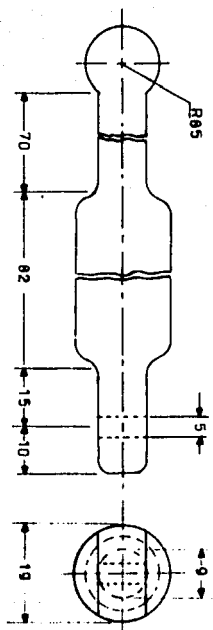
2



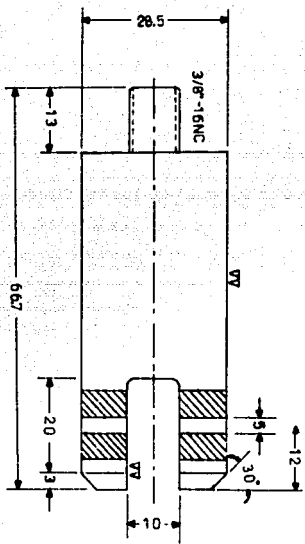
broca 5/32"-3/16-24NC-2 x 1"prof  
4 agujeros roscados



N.º DE DISEÑO 1000000000	EMPRESA S.A.	MATERIAL ALUMINIO 6061 T6	ESCALA 1:1
DISEÑADO POR J. GARCIA	APROBADO POR M. GARCIA	FECHA 10/10/2010	LUGAR MADRID

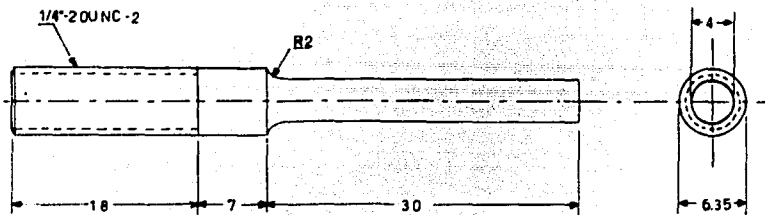


2

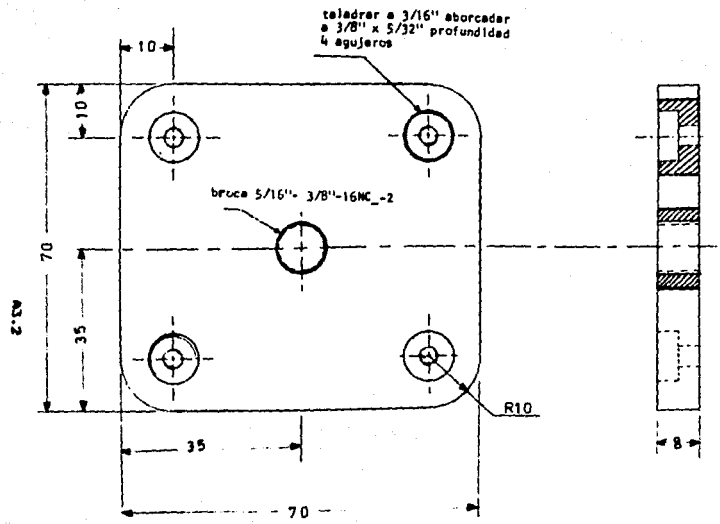


PROIECTIA	PAIARILE 2 STRANURI	MATERIAL	ALUMINIU SAU 1870	SCARA	1:1
DESIGNER	DE LA FABRICA	DATE		ETICHETA	
VERIFICATOR		PROIECTANT		DATE	

2.1



DESIGNAÇÃO	PERNO BOTADOR	MATERIAL	Aço INOX SAE 40	SENA	1.1
OBSERVAÇÕES	ACELD. EN MILIMETROS A MENOS SAE 12 ESPEC. 100% LD (SEM TRAPÉ)	UNID.	1400	FECHA	2/08/78

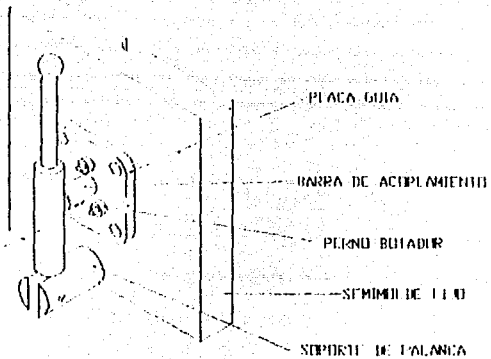


0.000010 4	PLACA 1011A	PROYECTO	SENA
0.000010 4	PLACA 1011A	NOV 1970	1011A
0.000010 4	PLACA 1011A	1970	1011A

PLACA DE EXTERIOR

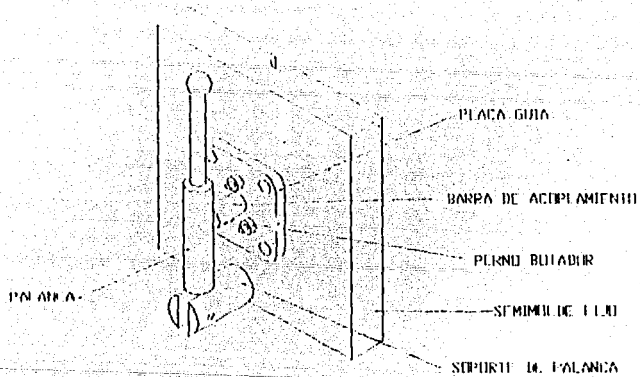
023

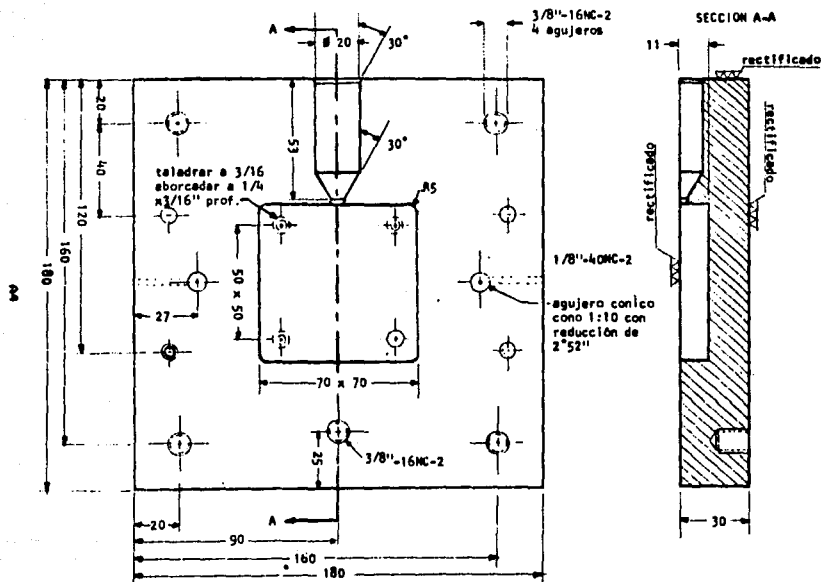
PLACA



# SISTEMA DE EXPULSION

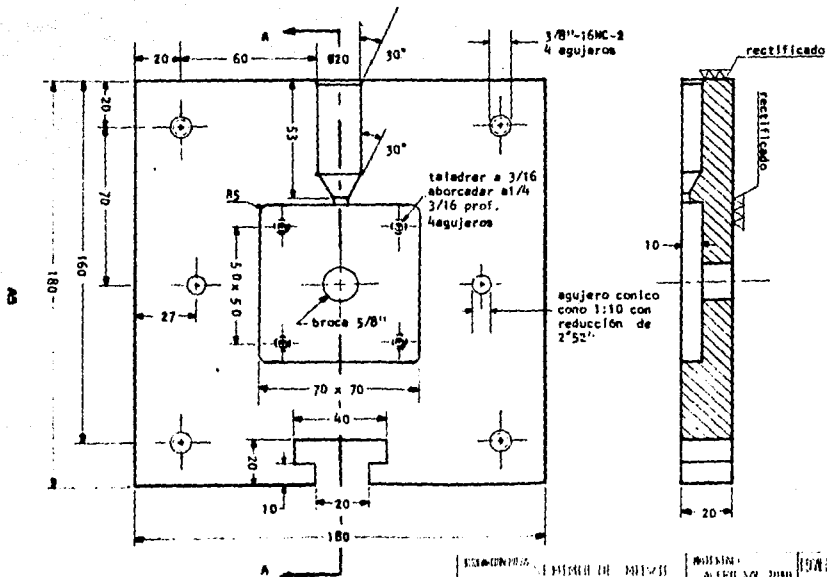
AS.3



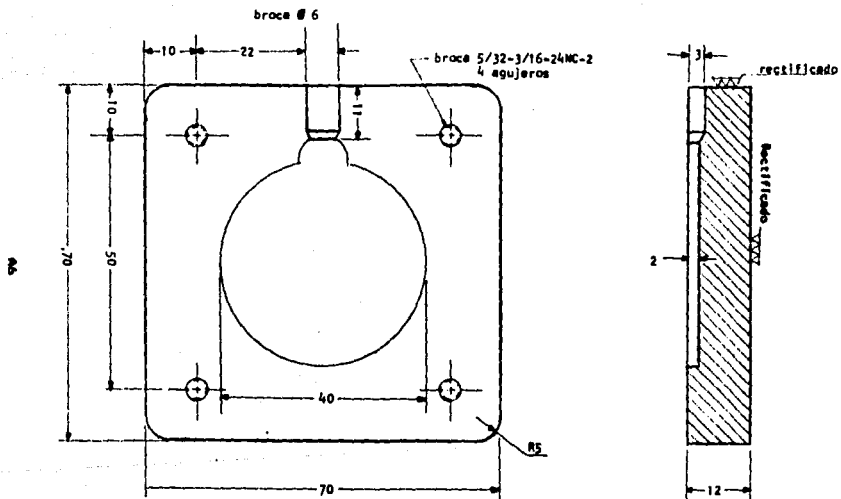


SECCION PARA	SEMIMIL DE FIJO	INVENTOR	AMARO SAE 1040	ESCALA	2:1
OBSERVACIONES	ACER EN PAQUETES A PRESAS DE SI ESTRUCO TO CENTRADO	DISENIO	1961	FLUJO	2/19/61

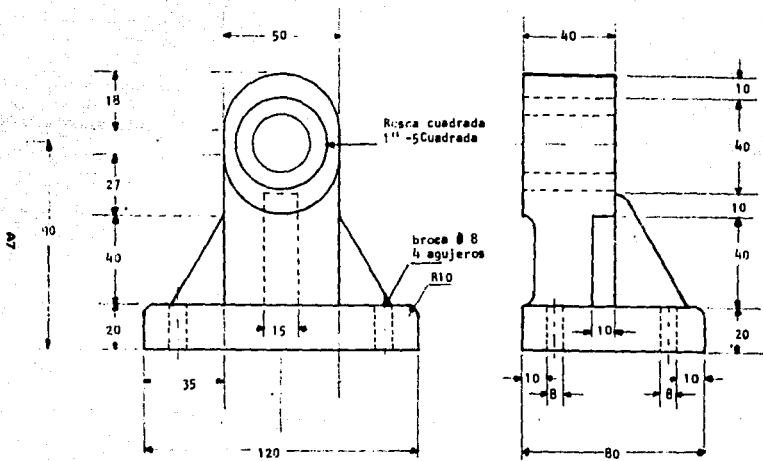




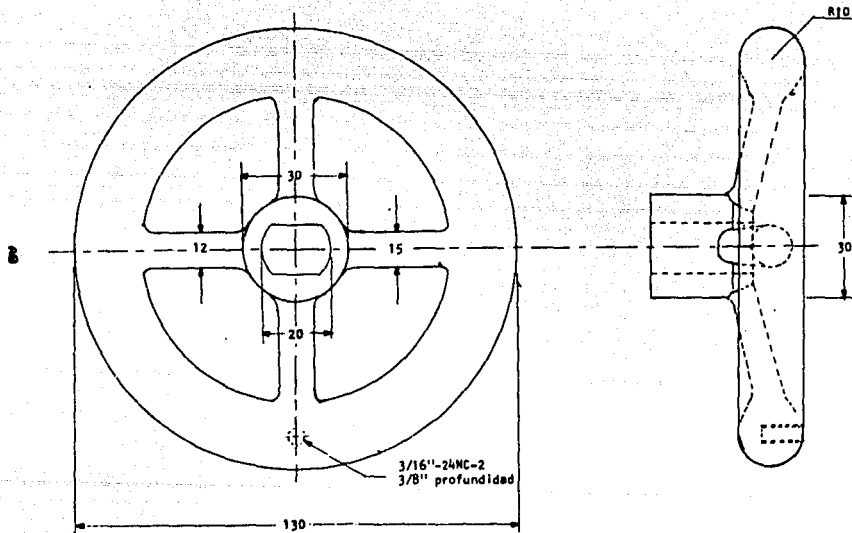
DISEÑO Aprobado:	DISEÑO Aprobado:	DISEÑO Aprobado:	DISEÑO Aprobado:
DISEÑO Aprobado:	DISEÑO Aprobado:	DISEÑO Aprobado:	DISEÑO Aprobado:



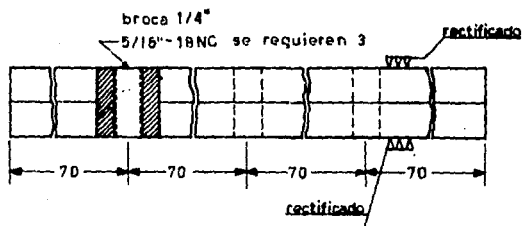
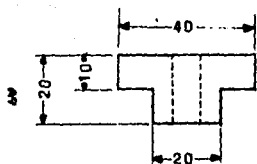
DESCRIPCION DEL INSERTO	PROYECTO: FUNDICION GRIS	ESCALA 1:1
REVISIONES ACERCA DE LAS MEDIDAS DE TRES A CINCO SE ESPECIFICAN LO CONTRARIO	BOQUIN GAB	FECHA 2/2005/20



DESIGNER: PWA	NUMERICAL CASE	WELDED:	TURBIDITY CASE	ISN # 153
DATE: 10/10/50	10/10/50	DATE: 10/10/50	DATE: 10/10/50	DATE: 10/10/50
DESIGNED BY: PWA	DESIGNED BY: PWA	DESIGNED BY: PWA	DESIGNED BY: PWA	DESIGNED BY: PWA



DESIGNACION PUNTA	VOLANTE	MATERIAL	ESCALA: 1:1
DESCRIPCIONES	ACERO EN HOJAS TUBOS A MENSURAS ESTRUCHERADO FEMORAL	FUND. DE ALUMINO	1:1 CHA 2/ABRIL/20



REVISIONES	QUILA * 1 *	MATERIALES	ESCALA: 1:1
REVISIONES	ACERD. EN UNO DE LOS EXTREMOS Y NO PUEDE SER SI ESTE EXTREMADO LO HUBIERA SIDO	ACERD. EN UNO DE LOS EXTREMOS Y NO PUEDE SER SI ESTE EXTREMADO LO HUBIERA SIDO	SP. 1000 2000,30 1000

MAQUINA PARA FUNDICION EN MOLDE PERMANENTE

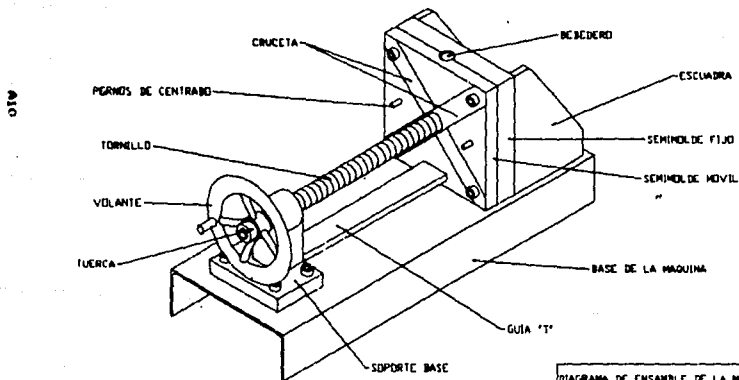


DIAGRAMA DE ENSAMBLE DE LA MAQUINA	FI UNAM
OBSERVACIONES	DIBUJO
MAQUINA "TIPO PRESNA"	FECHA
	20 MARZO '61
	GAPI

## APENDICE B

### Selección de materiales para los moldes

Como se mencionó en la selección de materiales para molde de fundición, hay que encontrar un material que pueda trabajar a altas temperaturas y no sufra deformación debido a esto.

Para la fabricación de la máquina de fundición con molde permanente (insertos), se optó por utilizar al hierro gris (fundición gris) y al acero H13.

En la siguiente sección se hablará de las características de los aceros de la serie H y las características de la fundición gris.

### Propiedades mecánicas y aplicaciones del hierro gris

La más importante clasificación de los hierros grises, desde el punto de vista de la ingeniería, es la utilizada por la ASTM especificación A48. Las piezas fundidas de hierro gris se clasifican en siete clases (números 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60) que dan la mínima resistencia tensil de las barras de prueba en miles de lb/pulg<sup>2</sup>; por ejemplo, el hierro gris clase 20 tendría una resistencia tensil mínima de 20,000 lb/pulg<sup>2</sup>; los de clase 30, 30,000 lb/pulg<sup>2</sup>, etc.

La resistencia tensil es importante al seleccionar un hierro gris para piezas sometidas a cargas elásticas indirectas de tensión o flexión. Tales piezas incluyen recipientes para soportar grandes presiones, cajas, válvulas, accesorios y palancas. Los hierros superiores a 40,000 lb/pulg<sup>2</sup> en resistencia tensil generalmente se consideran hierros de alta resistencia y son un poco más caros de producir y más difíciles de maquinarse. Los hierros grises no exhiben un punto de cedencia bien definido como lo hacen la mayoría de los aceros dulces. La curva esfuerzo - deformación no muestra una porción rectilínea, lo cual impide desarrollar un modelo de elasticidad definido. Los métodos usuales son determinar un módulo "relativo" al 25% de la resistencia a la

tracción esparada, o el módulo "tangente" trazando una línea tangente a algún valor de esfuerzo dado. El porcentaje de elongación es pequeño para todos los hierros fundidos, excediendo rara vez de 3 a 4%, y la reducción de área es demasiado pequeña para ser apreciable.

La resistencia compresiva es importante cuando el hierro gris se utiliza en cimentaciones o soportes de maquinaria. Como todos los materiales frágiles, la resistencia compresiva del hierro gris es mucho más grande que su resistencia tensil y en gran parte, es una función de la resistencia de corte. La falla en compresión generalmente ocurre a lo largo de un plano oblicuo, a menos que la muestra sea suficientemente larga para permitir la falla por flexión.

Muchos grados de hierro gris tienen mayor resistencia al corte torsional que algunos grados de acero. Esta característica, junto con la baja sensibilidad de muesca (concentración de esfuerzos en un punto o defecto), hace del hierro gris un material adecuado para varios tipos de flechas o ejes.

La dureza del hierro gris es el resultado promedio del grafito suave en el hierro y la matriz metálica. La variación de tamaño y distribución de grafito causará amplias variaciones en la dureza (particularmente dureza Rockwell). El medidor de dureza Brinell, cubre un área mayor, tiende a dar un valor de dureza más preciso que el medidor de dureza Rockwell.

#### Aplicaciones del hierro fundido

Debido a que el hierro gris es el tipo de pieza de fundición menos costoso, siempre debe considerarse primero cuando se va a seleccionar un metal fundido. Otro metal debe escogerse sólo cuando las propiedades mecánicas y físicas del hierro gris sean inadecuadas. Ejemplos de aplicaciones que requieren un mínimo de propiedades de piezas fundidas y el mínimo costo posible, son los contrapesos de los elevadores y para puertas de hornos industriales. El hierro gris se utiliza ampliamente para guarniciones y marcos de maquinarias sumamente peligrosas. Muchos tipos de cajas para engranes recintos para equipo eléctrico, cajas



para bombas y cajas para turbinas de vapor se funden en hierro gris, debido a su bajo costo. Otras aplicaciones importantes, son para la fabricación de moldes para fundiciones de aleaciones ligeras, monobloques de motor y cubiertas para alcantarillas.

#### Aceros para la fabricación de moldes para fundición de materiales ligeros y aleaciones varias

El aumento creciente de las industrias dedicadas a la fabricación de piezas de aleaciones de zinc y aluminio por gravedad y por inyección, ha exigido el desarrollo de aceros de calidad adecuada para la fabricación de las piezas fundidas que emplean esas industrias.

Aunque en general para moldes de fundición se emplean prácticamente los mismos aceros que se han estudiado para trabajo en caliente, describiremos a continuación los más empleados porque forman un grupo muy característico y de ésta forma se facilita su estudio.

En la fundición por simple gravedad de aleaciones de zinc de bajo punto de fusión, en los moldes no llegan a calentarse a temperaturas superiores a los 300°C, y aleaciones de aluminio en pequeñas series y trabajos de poca responsabilidad, se emplean aceros al carbono de 0.5 a 0.9%, o aceros débilmente aleados con 0.4 a 0.55% de carbono y contenidos en cromo o en wolframio de 0.7 a 2% (Aceros H22 y H43 tabla 6.3).

En cambio, para moldes que deben utilizarse en grandes series y en ocasiones que llegan a alcanzar temperaturas bastante elevadas se obtiene mejores resultados con aceros de 0.35 a 0.4% de carbono y 5% de cromo (Aceros H11 y H14 Tabla 6.3). Cuando la temperatura de calentamiento de los moldes es muy elevada, se emplea con éxito un acero que contiene 5% de wolframio, además de 5% de cromo. En el caso de que se trate de grandes piezas, se suele emplear un acero que además de cromo y wolframio, tiene de 0.5 a 1.5% de molibdeno, con objeto de mejorar la templabilidad.

Estos aceros de 5% de cromo por su gran templabilidad tienen la ventaja de no sufrir deformaciones en el temple, puesto que el enfriamiento puede hacerse al aire, lo cual es de un interés

extraordinario para obtener piezas de formas muy complicadas y medidas muy exactas. Para ciertos trabajos con latones y bronce de alta temperatura de fusión se emplean moldes fabricados con aceros de 9 a 14% de wolframio. (aceros H21 y H23 tabla 6.3)

Las coquillas se suelen emplear después del temple y revenido con durezas variables de 400 a 500 Brinell, que corresponden a resistencias de 140 a 170 kg/mm<sup>2</sup>.

En ocasiones se utilizan con mucho éxito coquillas nitruradas empleándose generalmente capas nitruradas de 0.10 a 0.15 mm de espesor. Con la nitruración se consigue una extraordinaria resistencia al roce y al desgaste que ocasionan en estos trabajos los metales fundidos o en estado pastoso. Todos los aceros de alto contenido en cromo y molibdeno que se citan en la tabla 6.3 admiten bastante bien la nitruración. En ocasiones también se emplean en coquillas cementadas fabricadas con aceros de 2 a 5% de cromo (aceros H10 y H13 Tabla 6.3).

La forja y tratamientos térmicos de estos aceros deben hacerse utilizando las recomendaciones de carácter general que para aceros similares se han dado al estudiar los aceros para trabajo en caliente y los de cementación y nitruración.

Tabla 6.3

Tipo	Composición				
	C	Cr	V	W	Mo
H10	0.40	2.00	0.40	....	....
H11	0.35	5.00	0.40	1.25	1.50
H13	0.35	5.00	0.25	....	1.50
H14	0.40	5.00	....	5.00	....
H21	0.40	5.00	0.40	9.00	....
H22	0.40	2.00	0.20	11.00	....
H23	0.30	12.00	0.30	9.50	0.70
H25	0.35	4.00	0.20	....	8.00

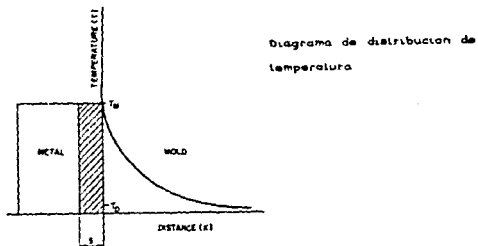
Tabla 6.3 Aceros para molde serie M

## APENDICE C

### CONSIDERACIONES TEORICAS DE DISEÑO

En la realidad el flujo de calor de una fundición es en todas direcciones por lo que es necesario un modelo matemático tridimensional para describir de manera adecuada ésta situación. Sin embargo, el análisis, es muy complejo y va más allá del propósito de este tema. Por otro lado, los principios más importantes de la solidificación pueden ser demostrados de manera más sencilla, con un modelo matemático unidimensional.

El diagrama esquemático sobre la distribución de temperaturas durante una solidificación unidimensional se muestra en la figura siguiente:



En éste modelo se asume que el metal tiene una elevada conductividad térmica con respecto al molde (fundición de aluminio en un molde metálico).

Debido a que el metal tiene comparativamente una conductividad más alta se asume que los gradientes de temperatura en el metal deben ser mucho menores que en el molde. Al mismo tiempo que se asume que la resistencia térmica al flujo de calor sobre el límite "metal-molde" deben ser más pequeñas ya que el flujo de calor en el molde aislado es lento. Bajo éstas circunstancias la transferencia de calor está controlada por las condiciones térmicas en el molde. El perfil de temperatura en el molde empieza a caer por encima del punto de fusión del metal en la interfase metal-molde hasta que la solidificación es completa. Si se reconoce que el flujo de calor es un proceso de difusión térmica, entonces ésta situación puede ser vista como el

equivalente al proceso de difusión de masa descrito para la carburización. En general  $T_m$  y  $T_o$  pueden ser identificados con  $C_s$  y  $C_o$ .

El perfil de temperaturas esta dado por:

$$T(x,t) = T_m + (T_o - T_m) \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{\alpha_{th} t}} \right) \quad \text{C.1}$$

donde:

- $T(x,t)$  : temperatura
- $T_m$  : temperatura de fusión del metal
- $T_o$  : temperatura ambiente
- $\alpha_{th}$  : difusividad térmica
- $t$  : tiempo
- $\operatorname{erf}$  : función de error

Debe recordarse que la ecuación de calor de Fourier fué para un estado simple, (no fué derivado de los primeros principios) debido a las similitudes entre el transporte de masa y transporte de calor en sólidos. De la misma manera la ecuación puede escribirse haciendo uso de la similitud que hay entre los procesos de endurecimiento y el flujo de calor en la solidificación de fundiciones.

El transporte de masa en un sólido depende principalmente de una constante que es la constante de difusión  $D$ , la cual aparece en las dos leyes de Fick. Sin embargo, se utilizan dos constantes térmicas para describir la transferencia de calor-difusión térmica y conductividad térmica. Físicamente estas dos cantidades estan relacionadas por la ecuación.

$$\alpha_{th} = \frac{k}{C_o} \quad \text{C.2}$$

La cantidad de calor que se transfiere (difusión) de una posición o punto de un solido a otro punto puede ser visto como proporcional a la conductividad térmica e inversamente proporcional a la capacidad del material para absorber calor.

Estas semejanzas de transporte son suficientes para desarrollar un flujo de calor, suficiente para demostrar los principios de solidificación en fundiciones, aunque debe reconocerse que ésto no es un substituto para un conocimiento fundamental en transferencia de calor.

Quizás la cantidad más importante que surge del flujo de calor unidireccional es el tiempo necesario para que solidifique una cantidad de material.

El espesor de una figura puede ser expresado en términos de volumen y área transversal (área proyectada) como se indica.

$$S = V/A \quad C.3$$

donde: S es el espesor

V es el volumen

A es el área transversal ó proyectada

El tiempo de solidificación es obtenido por medio de un balance térmico en la interface metal-molde. La rapidez de transferencia de calor de la fundición a el molde se obtiene multiplicando la rapidez de solidificación de la masa por el calor de fusión.

$$\frac{dQ}{dt} = \Delta H_f \left( \frac{dm}{dt} \right) \quad C.4$$

donde :

Q es el calor transferido a el molde

t es el tiempo

$\Delta H_f$  es el calor de fusión del metal

m es la masa solidificada

Esta misma relación puede ser expresada en términos de la tasa de volumen solidificada, es decir:

$$\frac{dQ}{dt} = \rho_c (\Delta H_f) \left( \frac{dV}{dt} \right) \quad C.5$$

donde  $\rho_c$  es la densidad de la fundición

La ecuación anterior puede expresarse en términos del flujo de calor transferido de la fundición a el molde.

$$J_c = \rho_c (\Delta H_f) \left( \frac{dS}{dt} \right) \quad C.6$$

donde :

$J_c$  es el flujo de calor que se mueve a través de la

frontera metal-molde

Por otro lado el calor que fluye de la interface hacia el molde puede obtenerse aplicando la ecuación de calor de Fourier.

$$J_m|_{x=0} = -k_m \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} \quad C.7$$

donde  $J_m|_{x=0}$  es el flujo de calor en el molde para  $x=0$   
 $k_m$  es la conductividad térmica del molde

El gradiente de temperatura en la interface puede obtenerse diferenciando la ecuación c.1.

$$\left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} = (T_0 - T_m) \left( \frac{2}{\sqrt{\pi}} \right) \left( \frac{1}{2\sqrt{\alpha} \sqrt{t}} \right) \quad C.8$$

substituyendo las ecuaciones C.2 y C.8 en la ecuación C.7

$$J_m|_{x=0} = \left[ \frac{k_m C_m \rho_m}{\pi t} \right]^{1/2} (T_m - T_0) \quad C.9$$

Donde el calor transferido de la frontera de la interface hacia el molde debe ser el mismo que el transferido por el metal a la interface, por lo que la ecuación c.9 puede ser igual a la ecuación c.7, e integrando para encontrar la distancia de solidificación en términos del tiempo de solidificación.

$$S = \left( \frac{2}{\sqrt{\pi}} \right) \left( \frac{T_m - T_0}{\rho_c \Delta H_f} \right) \left( \sqrt{k_m \rho_m C_m t} \right) \quad C.10$$

y el tiempo para la solidificación total se puede obtener reescribiendo la ecuación c.10 y combinandola con la ecuación C.3

$$t_f = \left[ \left( \frac{\pi}{4} \right) \left( \frac{\rho_c \Delta H_f}{T_m - T_0} \right)^2 \left( \frac{1}{k_m \rho_m C_m} \right) \right] \left( \frac{V}{A} \right)^2 \quad C.11$$

Los términos encerrados en paréntesis cuadrados [ ] son todos constantes, y luego entonces la ecuación C.11 se reduce a la forma:

$$t_f = C \left( \frac{V}{A} \right)^2 \quad C.12$$

Esta es la muy bien conocida relación de Chvorinov, la cual esta presentada aquí en términos de solidificación unidimensional. La ley de Chvorinov también es razonablemente buena para describir formas tridimensionales relativamente sencillas.

a) Tamaño del bebedero.

El análisis cuantitativo de la alimentación más antiguo y conocido ampliamente es el de Chvorinov. Chvorinov demostró que el tiempo para la completa solidificación de una forma fundida es proporcional al cuadrado del volumen de la pieza entre la superficie (área proyectada) es decir.

$$T_f = C \left( \frac{V}{A} \right)^{1/2} \quad C.13$$

en donde  $T_f$  = tiempo de solidificación  
 $V$  = volumen de la fundición  
 $A$  = superficie de la fundición  
 $C$  = constante

esta ecuación no es exacta ni absolutamente rigurosa para todas las fundiciones pero es una buena aproximación técnica para formas de geometría sencilla.

Uno de los requisitos de un bebedero adecuado es que debe permanecer fundido durante más tiempo que la pieza a la que va a alimentar. Con ésto en mente, la regla de Chvorinov sirve como una guía básica para determinar el tamaño del bebedero. Las fundiciones con una relación de volumen-superficie (esferas, cubos), solidifican relativamente lentas, y por lo tanto requieren de bebederos grandes en comparación con su tamaño. Piezas con el mismo volumen pero con una relación  $V/A$  más pequeña (placas, barras), solidifican más rapidamente, y por lo tanto pueden usarse bebederos más pequeños para obtener una alimentación adecuada. El tamaño y forma del bebedero deben ajustarse de manera que su relación volumen superficie sea por lo menos tan grande como la de la fundición, con esto podemos asegurar que el bebedero es lo suficientemente grande como para solidificar después de la

pieza.

(V/A) bebedero > (V/A) pieza

El metal líquido desaparece del bebedero en una de dos maneras. Se enfría hasta formar metal sólido en el bebedero ó también es succionado del bebedero a causa del rechupado de solidificación que tiene lugar en la fundición, y por lo tanto debe ser grande para poseer metal líquido extra para ese objeto.

b) El sistema de alimentación y sus diseño.

El sistema de alimentación son canales por los que fluye el metal fundido para llenar una cavidad de un molde. El bebedero, las canales, y las entradas, los cuales se diseñan para conducir al metal fundido hacia abajo, a través y adentro de la cavidad principal del molde. Las funciones de un sistema de alimentación son:

- 1.- llenar la cavidad del molde
- 2.- Introducir el metal fundido en el molde con la mínima turbulencia posible para evitar la erosión del molde y la absorción de gases.
- 3.- Establecer los mejores gradientes de temperatura posibles en la fundición.
- 4.- Introducir en el metal la acción de barrido apropiada al fluir por el sistema de canales.
- 5.- Regular la velocidad de entrada del metal en la cavidad del molde.

Con objeto de que la alimentación funcione con propiedad se debe controlar:

- 1.- La velocidad de vertido
- 2.- El tamaño, número y localización de las entradas que llevan a la pieza fundida.
- 3.- tamaño y tipo de bebedero y canal.
- 4.- Tipo de equipo de vertido, tales como cucharas.
- 5.- Posición del molde durante el vertido y el enfriamiento
- 6.- temperatura (fluidez) del metal.

#### COLADA DIRECTA

La colada directa se limita usualmente a moldes relativamente



pequeños, de diseño sencillo o a fundiciones grandes hechas en moldes de material resistente a la erosión. La turbulencia del metal al entrar en la cavidad tiende a erosionar las porciones del molde así como a causar atrapamiento de aire y de óxidos de metal en la propia fundición.

En la colada de acero y de hierro colado, la erosión del molde es usualmente el problema más severo derivado de la turbulencia producida por la colada directa. En los metales ligeros, más oxidables como el aluminio y el magnesio, la escoria y el atrapamiento de aire son los problemas más severos resultantes del vertido turbulento.

A menudo se usan coladores para la colada directa. Las aberturas controlan el régimen de flujo y la escoria y las inclusiones tienden a limpiarse (es decir se quedan retenidas) del metal en la cavidad de vertido que queda sobre las aberturas del colador. Sin embargo, aun con coladores, el metal tiende a entrar en el molde de una manera fuertemente turbulenta.

En el sentido hidrodinámico clásico, el flujo de metales líquidos en los sistemas de alimentación es casi siempre "turbulento". Con velocidades suficientemente bajas en el metal, puede obtenerse un verdadero flujo laminar, pero estas velocidades son tan pequeñas que casi siempre es impráctico diseñar un sistema de alimentación para obtenerla.

Se ha establecido que el flujo de todos los fluidos en ductos puede relacionarse según su número de Reynolds

$$N_R = \frac{\rho V d}{\mu}$$

C.14

Cuando un líquido está fluyendo a una velocidad tal que el número de Reynolds sea menor de unos 2000, hay un flujo laminar. Cuando el  $N_R$  es de más de 2000, el flujo es usualmente turbulento. En los sistemas de alimentación ordinarios se obtienen números de Reynolds de entre 2000 y 20000, el flujo de estos sistemas es casi siempre turbulento. El grado de turbulencia que se encuentra en sistemas de colada bien diseñados no parece ser dañino a la calidad del metal, aunque cuando resulta excesivo resultan daños

por rotura de la piel de metal líquido con el consiguiente atropamiento de aire, y partículas. En la práctica, el diseño de sistemas de colada no incluye la eliminación de la turbulencia del metal, sino más bien su reducción hasta el punto en que no sea dañina.

En el diseño de sistemas de colada son interesantes dos ecuaciones básicas del flujo de fluidos, (1) para calcular la velocidad del metal y de los regímenes de flujo, y para obtener una comprensión de los fundamentos del flujo de metales. La primera de estas ecuaciones es la ley de la continuidad.

$$Q = A_1V_1 = A_2V_2 \quad C.15$$

Esta ley se aplica solamente a canales que estén completamente llenos; establece que puesto que los líquidos son incompresibles, el gasto  $Q$  debe ser el mismo en todas las porciones del sistema del fluido.

La segunda ecuación de importancia básica en los cálculos de flujo es el teorema de Bernoulli.

$$V_1^2/2g + P_1/\rho + h_1 = V_2^2/2g + P_2/\rho + h_2 \quad C.16$$

El teorema de Bernoulli establece que la energía de un líquido en un punto dado puede dividirse en tres partes: energía cinética ( $V^2/2g$ ), energía de presión ( $P/\rho$ ), y energía potencial ( $h$ ). En el caso ideal (no hay fricción u otras pérdidas de energía) cuando el líquido se mueve del punto 1 al punto 2, no hay ganancia ni pérdida de energía. Entonces haciendo iguales a las energías para las dos posiciones se cumple la ecuación anterior.

Al descender el metal por el bebedero, su velocidad aumenta debido a la aceleración de la gravedad, y si el bebedero no se ahusa, el metal se desprende de las paredes del molde (tira) que trae consigo turbulencia y aspiración. Si las paredes se ahusan lo suficientemente como para que el metal se adhiera firmemente a ellas durante su caída, se elimina la aspiración, para ésto puede emplearse la ecuación.

$$\frac{A_1}{A_2} = \left( \frac{Z_2}{Z_1} \right)^{1/2}$$

C.17

en donde :

- A<sub>1</sub>= área de la entrada del bebedero
- A<sub>2</sub>= área en cualquier otro lugar del bebedero
- Z<sub>2</sub>= distancia desde la parte superior del depósito de vertido hasta la posición de A<sub>2</sub>
- Z<sub>1</sub>= nivel del depósito de vertido sobre la entrada del bebedero

Esta ecuación nos indica que el bebedero ideal debiera tener un ahusamiento parabólico pero se sugiere que en la práctica es suficiente calcular las áreas de entrada y de salida y trazar entre ellas un tronco de cono de lados rectos. El ahusamiento calculado por la ecuación probablemente es un tanto conservador, puesto que las pérdidas de energía en el bebedero y más abajo de él crean una contrapresión que reduce la cantidad de ahusamiento necesario. A veces ciertamente, se aumenta la pérdida de energía por fricción en el bebedero intencionalmente haciendo uso de bebederos de sección rectangular.

TABLAS

A continuación se muestra una tabla para obtener el cálculo de velocidades de corte

TABLA # 1

MATERIAL	RESISTENCIA en KP/mm <sup>2</sup>	UTIL	Avance S en (mm. rev)					S.2
			0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	
			val. corte v m/min.					
Aceros sin alea		SS	80	60	42	24	15	19
St 34, St 37, St 42	St 30	S	220	186	100	170	67	56
St 50, St 60	50-70	S	240	205	175	145	50	42
St 70	70-85	S	200	170	132	106	34	27
Aceros moldesado	50-70	SS	84	58	38	24	14	11
		S	118	100	85	71	24	20
Aceros aleados	85-100	SS	54	38	27	18	9.5	6
Ac. Mn, ac. Cr-Mn	100-140	SS	40	28	18	9	5.0	
Ac. Cr-Mo.	100-140	S	65	75	60	50	16	13
Y otros aceros	140-180	SS	20	15	9			
Aceros aleados	140-180	S	60	68	58	52	10	8
Aceros de herramientas	180-180	SS	50	40	32	27	8.5	6.7
Aceros duros		SS						
St Mn.		S	40	32	25	20	6.7	5.5
Hierro Fundido	N B H	SS	48	37	27	18	14	9.5
GG-10, GG-15	-200	S	140	118	95	80	47	
GG-20, GG-25	N B H	SS	32	25	18	15	9.5	6.5
	200-250	S	105	90	75	65	35	
FUNDICION		SS	48	38	30	25	9	
MALEABLE		S	105	90	75	65	55	
ALEACIONES DE	N B H	SS	125	85	56	38		
COBRE Y LATON	80-120	S	600	530	450	400	355	
LATON ROJO		SS	55	42	35	34	24	24
		S	800	450	275	235	200	
FUND. BRONCE		SS	45	35	28	24	20	18
		S	255	230	204	180	150	
METALES LIGEROS		SS	400	300	200	145	75	
ALUMINIO TECNICO		S	1520	1120	650	450	210	
Aleaciones de Al.		SS	100	67	45	30		
(St. 150 St)		S	224	180	140	110	112	
Aleaciones de		SS	1000	900	800	750	710	
Magnesio		S	1800	1500	1350	1000	900	
Metal Sintético		SS						
Para moldes		S	500	380	250	224	200	
Para otros		SS						
Masa prensada		SS						
Para otros		S	250	212	170	152	100	

SS ACERO RAPIDO  
 S METAL DURO SEGUN DIN.  
 G METAL DURO SEGUN DIN.

En la siguiente tabla se puede obtener las revoluciones por minuto

TABLA # 2

d	Velocidad de corte v en m/min.											
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	100	150
en mm.	Número de revoluciones por minuto n											
5	510	498	958	1272	1890	1912	2290	2948	3180	5095	6280	9590
6	423	391	797	1040	1523	1593	1956	2524	2650	4240	5900	8000
7	363	455	688	910	1336	1363	1698	2120	2275	3680	4550	6000
8	318	400	597	794	996	1194	1508	1992	1990	3180	3980	5000
9	288	384	580	708	886	1040	1340	1415	1770	2890	3540	4500
10	258	318	478	637	796	950	1125	1274	1590	2550	3180	4000
11	231	289	434	580	724	868	1013	1187	1445	2310	2890	3630
12	212	265	398	531	668	796	928	1060	1325	2190	2660	3000
14	182	228	341	455	568	682	796	910	1156	1820	2280	2440
16	159	199	298	398	497	597	695	796	995	1590	1990	2080
18	142	177	265	354	443	530	620	708	885	1420	1770	2060
20	128	159	239	319	398	478	558	637	795	1270	1590	1800
22	118	145	217	290	362	434	506	579	728	1190	1450	1670
25	102	128	192	253	319	383	446	510	658	1020	1280	1510
28	91	114	171	227	284	341	398	455	568	910	1140	1370
32	80	100	149	199	249	298	348	398	498	800	1000	1190
36	71	89	133	177	221	265	310	354	442	710	890	1080
40	64	80	119	159	199	239	278	318	398	640	800	1000
45	57	71	106	142	177	214	248	289	354	570	710	1000
50	51	64	96	127	159	191	228	258	318	510	640	950
55	46	58	87	116	145	174	208	231	298	460	580	970
60	43	53	80	108	133	159	186	212	269	430	530	800
70	36	46	68	91	114	136	169	182	227	360	460	680
80	32	40	60	80	100	119	139	159	199	320	400	600
90	28	38	58	71	89	106	124	142	177	285	355	580
100	26	32	48	64	80	96	111	127	159	255	320	480
110	23	29	43	58	73	87	101	116	145	231	290	435
125	20	26	38	51	64	76	89	102	127	200	259	380
140	18	23	34	46	57	68	80	91	114	180	238	340
160	16	20	30	40	50	60	70	80	100	160	200	300
180	14	17	27	35	44	53	63	71	88	140	175	245
200	12	16	24	32	40	48	56	64	80	125	160	240
220	11	14	22	29	36	43	50	57	71	114	145	210
250	10	12	19	25	31	38	44	51	64	100	125	190
275	9	11	17	23	29	35	40	47	58	98	115	175
300	8	10	16	21	26	32	37	43	53	95	105	160
350	7	9	14	18	22	28	33	38	48	79	91	135
400	6	8	12	16	20	24	28	32	40	64	80	120
450	6	7	11	14	18	21	24	28	36	57	71	105
500	5	6	10	13	16	19	22	26	32	51	64	95

$$v = n \pi d n$$

$$n = \frac{v}{\pi \pi d}$$

$$d = \frac{v}{\pi n}$$

$$d \text{ (m)}$$

### TALADRADO

En la siguiente tabla se puede conocer el avance de la herramienta, y el lubricante aconsejable para la operación.

TABLA B 3

Material	AVANCE a mm/rev. Velocidad de corte v en m/min.							MEDIO DE REFRIGERACION.
	DIAMETRO DE LA BROCA							
	5	10	15	20	25	30	35	
ACERO	0.1	0.18	0.25	0.28	0.31	0.34	0.36	
-60 Kp/mm <sup>2</sup>	19	18	22	26	29	32	35	ACEITE DE CORTE O REFRIG.
-60 Kp/mm <sup>2</sup>	18	16	20	23	26	28	29	
-80 Kp/mm <sup>2</sup>	0.07	0.12	0.16	0.19	0.21	0.23	0.25	
-100 Kp/mm <sup>2</sup>	9	10	12	13	17	18	19	
100- Kp/mm <sup>2</sup>	0.015 - 0.17 mm/rev. 4 - 12 m/min.							
FUNDICION	0.15	0.24	0.3	0.32	0.35	0.38	0.4	SECO O ACEITE DE CORTE
-18 Kp/MM <sup>2</sup>	14	20	22	24	27	30	40	
-22 Kp/MM <sup>2</sup>	16	18	21	24	26	27	28	
-30 Kp/MM <sup>2</sup>	0.10	0.16	0.20	0.24	0.28	0.30	0.30	
LATON	0.10	0.15	0.22	0.27	0.30	0.32	0.34	ACEITES DE CORTE O MINERAL
-40 Kp/MM <sup>2</sup>	0.07	0.12	0.18	0.24	0.28	0.28	0.28	
-60 Kp/mm <sup>2</sup>	0.14	0.18	0.22	0.27	0.30	0.32	0.34	
BRONZE	0.08	0.08	0.12	0.16	0.20	0.22	0.24	
-80 Kp/mm <sup>2</sup>	0.08	0.12	0.20	0.30	0.35	0.40	0.46	ACEITE DE CORTE
ALUMINIO tecnico	0.12	0.20	0.30	0.40	0.46	0.50	0.60	
ALUMINIO elecciones	0.18	0.20	0.30	0.38	0.40	0.45	0.50	SECO O ACEITE A PRESION
MAGNESIO	0.04	0.08	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17	
MATERIALES PESADOS	80 - 48 m/min.							

En la siguiente tabla podemos calcular el tiempo requerido a cada 10 cm. de recorrido del trabajo.

TABLA 8 4

NUMERO DE REV. n rev/mln.	Avance a en mm/rev.								
	0.10	0.12	0.16	0.20	0.25	0.32	0.40	0.50	0.63
	Tiempo principal l p en min/cm.								
11.2	8.08	7.44	5.85	4.46	3.57	2.79	2.23	1.78	1.38
14	7.15	5.95	4.40	3.57	2.85	2.23	1.78	1.43	1.09
18	5.36	4.86	3.47	2.77	2.22	1.78	1.39	1.11	0.85
22.4	4.47	3.76	2.79	2.23	1.78	1.39	1.11	0.89	0.68
28	3.57	2.97	2.23	1.78	1.42	1.11	0.89	0.71	0.55
35.6	2.82	2.34	1.76	1.40	1.12	0.89	0.70	0.56	0.43
45	2.22	1.85	1.39	1.11	0.88	0.69	0.55	0.44	0.34
56	1.79	1.51	1.12	0.89	0.71	0.55	0.44	0.36	0.27
71	1.41	1.17	0.88	0.70	0.59	0.44	0.35	0.28	0.21
90	1.11	0.92	0.69	0.55	0.44	0.34	0.28	0.22	0.17
112	0.89	0.74	0.58	0.44	0.36	0.28	0.22	0.18	0.14
140	0.71	0.59	0.44	0.36	0.28	0.22	0.18	0.14	0.11
180	0.58	0.48	0.35	0.28	0.22	0.17	0.14	0.11	0.085
224	0.45	0.37	0.28	0.22	0.18	0.13	0.11	0.09	0.08
280	0.36	0.29	0.22	0.18	0.14	0.11	0.08	0.07	0.055
355	0.28	0.23	0.17	0.14	0.11	0.08	0.07	0.05	0.043
450	0.22	0.18	0.14	0.11	0.08	0.07	0.05	0.04	0.034
560	0.18	0.13	0.11	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.027
710	0.14	0.11	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02	0.021
900	0.11	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.017
1120	0.089	0.074	0.058	0.044	0.036	0.028	0.022	0.018	0.014
1400	0.071	0.059	0.044	0.036	0.028	0.022	0.018	0.014	0.011
1800	0.058	0.048	0.035	0.028	0.022	0.017	0.014	0.011	0.008
2240	0.045	0.037	0.028	0.022	0.018	0.013	0.011	0.009	0.007
2800	0.036	0.029	0.022	0.018	0.014	0.011	0.009	0.007	0.006

CEPILLADO

En la siguiente tabla podemos calcular la velocidad de corte m/min. dependiendo del acabado desbaste o afinado, herramienta, material de la pieza.

TABLA 8 5

	VELOCIDAD DE CORTE		m/min	
	DEBAGAR		AFINADO	
	As. herr.	As. rápido	As. herr.	As. rápido
ACERO	10 - 15	15 - 20	15 - 20	20 - 25
SI 37				
ACERO	8 - 12	12 - 16	12 - 16	16 - 20
SI 60				
ACERO	9 - 12	12 - 16	12 - 16	16 - 20
MOLDEADO				
FUNDICION	8 - 12	12 - 16	14 - 18	18 - 22
GRIS				
LATON	18 - 20	20 - 25	20 - 25	30 - 40
LATON ROJO				
METAL	---	30 - 35	---	50 - 60
LIGERO				

El avance es de 0.1 a 1.0 mm/carr. para el metal ligero, y de 0.2 - 6.0 con buril de acero para herramienta y de 0.6 - 12.0 para buril de acero rápido, estos últimos son empleados para todos los demás materiales.

Para determinar el tiempo principal se requiere saber:

$L$  = long. carrera = long. pieza + recorrido  $l_a$  y  $l_u$  en mm.

$s$  = avance cada doble carrera en mm.

$V_c$  = velocidad de corte en m/min.

$V_m$  = velocidad de recorrido en m/min.

Tiempo carrera de trabajo

$$t_c = \frac{L}{V_c \times 1000} \text{ (min.)}$$

Tiempo carrera de vacío

$$t_v = \frac{L}{V_m \times 1000} \text{ (min.)}$$

Tiempo carrera doble

$$t = \frac{L}{V_c \times 1000} + \frac{L}{V_m \times 1000} \text{ (min.)}$$

Número de carreras dobles necesarias

$$Z = \frac{\text{ancho de pieza}}{\text{avance}} \quad Z = \frac{b}{s}$$

Tiempo principal  $t_p$

$$t_p = \frac{b}{s} \frac{2L}{V_m \times 1000}$$



donde

$$V_m = 2 \frac{V_a \times V_s}{V_a + V_s}$$

#### RECTIFICADO.

En la siguiente tabla se muestra la velocidad periférica dependiendo del tipo de esmerilado:

Plano  
De afilado

TABLA 6

#### VELOCIDAD PERIFERICA DE LA MUELA DE ESMERIL

Tipo de rectificado	Velocidad periferica
Plano	20 - 25 m/s.

El avance longitudinal a cada revolución de la pieza es una fracción del ancho ( b ) de la muela en mm.

TABLA 7

material	Profundidad de corte	
	deabasto	afinados
Acero	0.01 - 0.02 mm	0.005 - 0.01 mm.

#### Tiempo principal de rectificado

Para el tiempo principal en el rectificado cilíndrico exterior e interior se requiere de la siguiente fórmula:

$$t_p = \frac{l + i}{n \times s}$$

Donde: l = longitud de la pieza en mm.  
s = avance en mm/rev pieza.  
n = # de revoluciones pieza / min.  
i = # de cortes

Para el tiempo principal en el rectificado plano se precisa de la siguiente fórmula:

$$t_p = \frac{l \times b \times i}{v \times 1000 \times s}$$

Donde: l = longitud de la pieza en mm

## BIBLIOGRAFIA

ASM

Metals Handbook Vol. 2  
Foundry & casting.  
5th Edition

BRUNHUBER, Ernest.

Fundición a presión.  
Barcelona, Ed. Gustavo Gili, 336 p.

SCHAREN, Säuderli, Ulrich.

Ingeniería de manufactura.  
Mexico, Ed. C.E.C.S.A., 729 p.

HEINEN, Richard, M.

Principles of metal casting.  
E.U.A., Ed. McGraw Hill, 736 p.

APRAIZ, Barreiro, José.

Aceros especiales y otras aleaciones.  
Madrid, Ed. Dossat, 652 p.

APRAIZ, Barreiro, José.

Fundiciones.  
Madrid, Ed. Dossat, 169 p.

APRAIZ, Barreiro, José.

Fabricación de hierro, acero y fundiciones.  
Bilbao, Ed. URNO, 366 p.

CAPELLO, Edoardo.

Tecnología de la fundición.  
Barcelona, Ed. Gustavo Gili, 493 p.

LE BRETON, Henry.

Defectos de las piezas de fundición.

Bilbao, Ed. URMO, 279 p.

SYDNEY, H. Avner.

Introducción a la metalúrgica física.

México, Ed. McGraw Hill, 693 p.

BIMENEZ, Ruiz, Mario.

Manual del modelista.

Barcelona, Ed. Gustavo Gili, 381 p.

AMSTEAD, D. W. y MYRON, L. Begeman.

Procesos de manufactura.

México, Ed. C.E.C.B.A, 820 p.

LAWRENCE, E. Boyle.

Procesos de materiales de manufactura para ingenieros.

México, Ed. Prentice Hall, 1041 p.

FLINN, Joseph.

Fabricaciones metálicas sin arranque de virutas.

Bilbao, Ed. URMA, 324 p.

HOMARD, E. D.

Tratado práctico de fundición.

Madrid, Ed. Aguilar, 482 p.

DUPONCHELLO, J.

Manual del fundidor de metales.

Barcelona, Ed. Gustavo Gili, 330 p.

TAYLOR, Howard, F.

Fundición para ingenieros.

México, Ed. Continental, 440 p.