



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"ANTEPROYECTO PARA EL CAMBIO PARCIAL
DEL SISTEMA DE MOLDEO, DE ARENA,
A MOLDE PERMANENTE EN UNA
FUNDICION DE HIERRO GRIS"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
P R E S E N T A
JULIO ALMONTES ESTRADA

TESIS CON
FALLA DE ORDEN



FACULTAD DE
QUIMICA

México, D. F. 1980



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.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 Introducci3n

1.2 Generalidades

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCION:

El procedimiento de colado a moldes permanentes, debido a sus posibilidades técnicas y económicas es uno de los procesos tecnológicos más progresistas. Este procedimiento es particularmente apropiado para altos volúmenes de producción de piezas pequeñas y no muy complejas.

En comparación con la colada realizada a moldes de arena en verde, la colada en moldes permanentes permite la producción de piezas con estructura más uniforme, toleran---cias dimensionales más cerradas, mejor acabado superficial y en general, propiedades mecánicas superiores; así como también mejores condiciones de trabajo con el consiguien---te aumento de la productividad.

El proceso de colado a moldes permanentes se puede automa---tizar casi en su totalidad, lo cual influye decisivamente en una mejor calidad a un costo de producción más bajo.

Sin embargo las coladas a moldes permanentes están limita---das por el tamaño de sección, forma de la pieza; se debe tener un control estricto sobre la estructura de la ma---triz, composición del baño, temperatura de colado, temper---atura de los moldes; y, el proceso puede resultar incos---teable si la producción es baja.

El objetivo del presente estudio es demostrar que colando algunos tipos de piezas a moldes permanentes se pueden resolver de manera económica los problemas que se tienen de entregas a los clientes.

1.2 GENERALIDADES:

El presente estudio se efectuó en la Empresa "METALURGICA DE TOLUCA, S.A. DE C.V.". Es una fundición de hierro gris que cuenta con departamento de maquinado y fabrica piezas en serie para la industria automotriz que tienen como función amortiguar al cigüeñal las vibraciones del motor. Las mencionadas piezas tienen forma de volante y además se aprovechan como polea para mover equipo auxiliar del motor como ventilador para enfriamiento del radiador, alternador, bomba de agua, etc.

El metal se funde en hornos de inducción de baja frecuencia y el colado se efectúa a moldes de arena en verde.

"METALURGICA DE TOLUCA" trabaja bajo un mercado cautivo para las empresas que fabrican automóviles y camiones. Teóricamente la capacidad instalada es suficiente para abastecer el mercado, pero con el actual sistema de moldeo se tienen muchos paros por descomposturas de los equipos, lo cual hace que con frecuencia haya demoras en las entregas, o que se tengan que comprar piezas a otras fundiciones, o inclusive, no se pueda cumplir con algunos pedidos, teniendo nuestros clientes la necesidad de importar estas piezas, con la consiguiente merma de utilidades para nuestra empresa, además de los problemas con los clientes por no poder satisfacer siempre sus necesidades al 100%. Lo anterior hace necesario renovar prácticamente todos los equipos del sistema de moldeo, o

implementar otro sistema de moldeo que nos permita un au
mento en la productividad y una gran velocidad de colado.
Se pensó en varios procesos como posible solución llega
do a la conclusión de que el sistema de colado a moldes
permanentes era el más adecuado para algunos tipos de --
piezas de acuerdo con los recursos técnicos y económicos
de la empresa.

Entre las alternativas posibles se pensó en continuar --
con el proceso de arena en verde y comprar una moldeado-
ra nueva con la cual no se tuvieran los problemas que --
con la actual, pero también se requiere una gran inver-
sión en dar un mantenimiento de renovación al molino, pa-
rrilla vibratoria de desmoldeo, granalladora y algunas -
partes del sistema de bandas para la recuperación de arg
nas de moldeo. También se pensó moldear mediante resinas
de autofraguado, pero este sistema resultó demasiado ca-
ro en comparación con los otros. El colado a moldes per
manentes pareció ser el sistema buscado, ya que la compa
ñía cuenta con un carrusel semiautomático de fabricación
doméstica con capacidad para montar 12 moldes y la inver-
sión para ponerlo en marcha y equiparlo con los 12 moldes
permanentes sería mínima ya que éstos pueden ser fundidos
y maquinados en la misma compañía sin detrimento de la -
producción.

CAPITULO II

DESCRIPCION DEL ACTUAL PROCESO

- 2.1 Hierro gris
- 2.2 Capacidad de amortiguar vibraciones.
- 2.3 Especificaciones para las piezas coladas en arena en verde.
- 2.4 Diagrama de bloques.
- 2.5 Plano general de localización.
- 2.6 Descripción del proceso de colado en moldes de arena en verde.

CAPITULO II
DESCRIPCION DEL ACTUAL PROCESO

2.1 HIERRO GRIS:

Esencialmente es una aleación de hierro, carbono y silicio, en la que el carbono está presente en exceso de la cantidad que puede ser retenida en solución sólida dentro de la austenita a la temperatura autéctica. Si este exceso de grafito se encuentra libre, la fractura que presenta el hierro es gris y de aquí recibe su nombre. Las hojuelas de grafito dan al hierro gris muchas propiedades deseables tales como alta fluidez y baja contracción, así como excelente maquinabilidad.

Las laminillas de grafito que interrumpen la matriz reducen grandemente la resistencia del hierro y, para que éste tenga buenas propiedades es necesario tener una buena técnica de fusión: y mediante la inoculación con ciertas sustancias grafitizantes como el ferrosilicio mezclado con calcio-silicio, influenciar el tamaño, distribución y forma de las hojuelas de grafito con el objeto de obtener coladas con propiedades mecánicas óptimas. La fundición gris fabricada en "METALURGICA DE TOLUCA" tiene gran capacidad para amortiguar vibraciones, gran resistencia a la tracción, fatiga, corrosión y desgaste debido a que el grafito se encuentra en forma de pequeñas laminillas con distribución uniforme y orientación al azar con lo cual se evitan secciones débiles formadas por concentración de grafito o distribución desfavorable de éste.

2.2 CAPACIDAD DE AMORTIGUAR VIBRACIONES:

La capacidad de amortiguar vibraciones es la habilidad que tiene un material para eliminarlas disipando esta energía como calor. La alta capacidad de disipar las vibraciones es una propiedad muy deseable para las partes

en movimiento porque la vibración las somete a esfuerzos considerables y la resistencia efectiva de una pieza sujeta a vibración es mucho mayor si está hecha de un material que pueda absorber estas vibraciones, que si estuviera fabricada de un material muy fuerte pero de baja capacidad para absorber vibraciones.

Las partículas de grafito presentes en el hierro gris no tienen resistencia mecánica y actúan como pequeños espacios vacíos, lo cual permite la deformación plástica del metal y con esto la capacidad de amortiguar las vibraciones.

Si se grafica la amplitud de las vibraciones sucesivas - se puede ver que el hierro gris posee una excelente capacidad de amortiguarlas como se ilustra en la Fig. 1

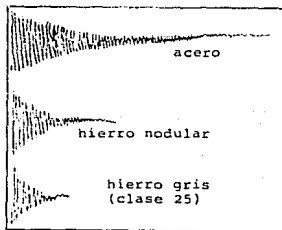


Fig. 1.- Capacidad relativa de amortiguar vibraciones de 3 materiales.

EFFECTO DE COMPOSICION Y LA ESTRUCTURA:

La capacidad del hierro gris para amortiguar vibraciones está determinada principalmente por la cantidad y forma de las hojuelas de grafito. Los hierros grises de mayor resistencia mecánica son los de menores cantidades de grafito y presentan poca capacidad de amortiguar vibraciones a cualquier esfuerzo aplicado como se puede ver en la figura 2.

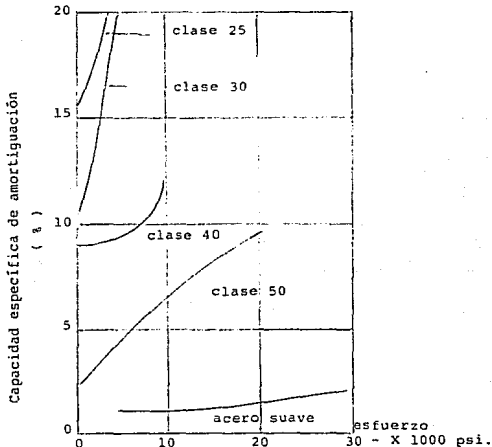


Fig. 2.- % de disminución de la amplitud vibracional por ciclo a niveles de esfuerzo variables para algunas clases de hierro gris y acero suave.

2.3 ESPECIFICACIONES PARA LAS PIEZAS COLADAS EN ARENA EN VERDE.

Los amortiguadores torsionales de vibraciones están constituidos por un núcleo y un anillo ensamblados mediante un hule insertado a presión (figura 3) y deben cumplir con las siguientes especificaciones.

CARBONO TOTAL	3.10	a	3.40	%
SILICIO	1.90	a	2.30	%
CARBONO EQUIVALENTE	3.73	a	4.13	%
MANGANESO	0.60	a	0.90	%
FOSFORO	0.15	%	máximo	
AZUFRE	0.12	%	máximo	

RESISTENCIA A LA TRACCION: 21.1 Kg/mm² mínimo (30,000 libras/pulgada²)

DUREZA BRINELL: 187 a 241 determinada en secciones de 6.3 a 19 mm. (1/4 a 3/4 de pulgada).

TIPO DE GRAFITO: "A" con un contenido máximo de 5% de otros tipos de grafito, a excepción del "C" que no es aceptado en ninguna proporción.

TAMAÑO DEL GRAFITO: 4 a 7

MATRIZ: Perlítica con 5% máximo de ferrita libre si ésta se encuentra dispersa.

CARBURYS MASIVOS: No se aceptan en ninguna proporción.

La composición química debe ser ajustada dentro de los límites anteriores para obtener la dureza, microestructura y resistencia a la tracción requeridas.

Las piezas deben estar libres de defectos tales como: sopladuras, grietas, rechupes, inclusiones de arena o escoria, gotas o juntas frías, o cualquier otro que actúe en detrimento de las propiedades o aspecto de la pieza.

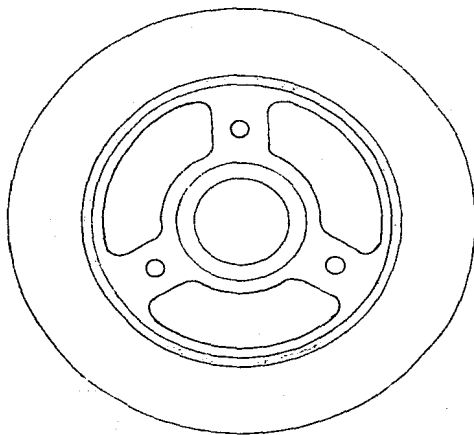
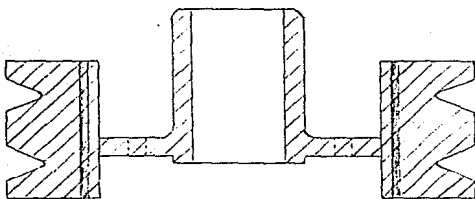
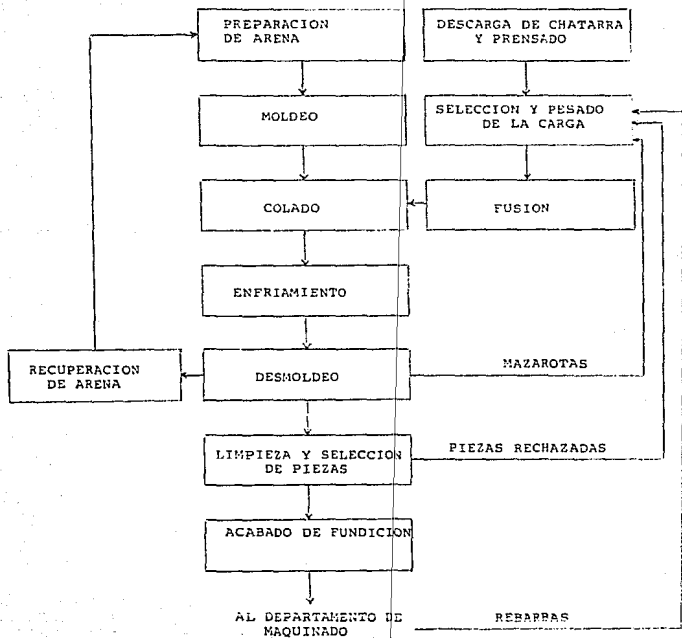


Figura 3.- Corte seccional y vista en planta de un amortiguador de vibraciones para automotores.

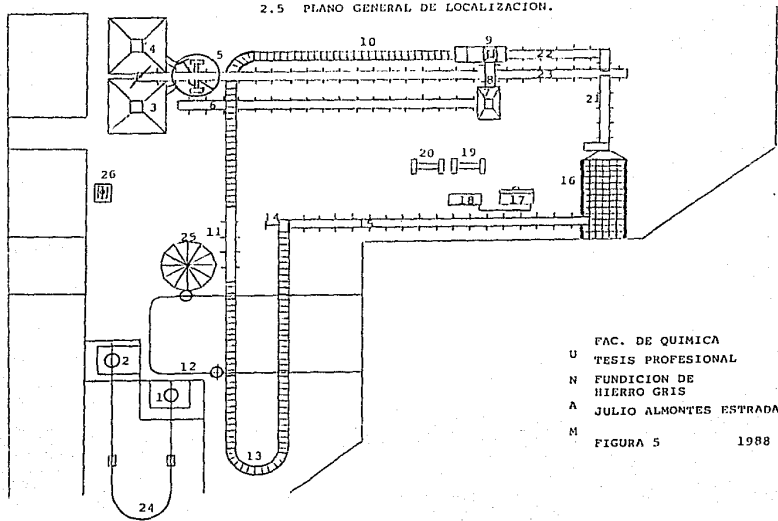
2.4 DIAGRAMA DE BLOQUES.

11



U FAC. DE QUIMICA
 N TESIS PROFESIONAL
 A FUNDICION DE
 HIERRO GRIS
 M JULIO ALMONTES ESTRADA
 FIG. 4 1988

2.5 PLANO GENERAL DE LOCALIZACION.



FAC. DE QUIMICA
 U TESIS PROFESIONAL
 N FUNDICION DE
 A HIERRO GRIS
 JULIO ALMONTES ESTRADA
 M FIGURA 5 1988

LISTA DE EQUIPO:

- 1.- Horno de inducción de 500 Kw. marca BROWN BOBERI con capacidad máxima de 2,000 Kgs., y velocidad de fusión de 500 Kgs./hr.
- 2.- Horno de inducción de 500 Kw.marca INDUCTO-THERM con capacidad máxima de 1,400 Kgs. y velocidad de fusión de 500 Kgs./hr.
- 3.- Tolva de arena recuperada con capacidad para almacenar 60 tons.
- 4.- Tolva de arena recuperada con capacidad para almacenar 60 tons.
- 5.- Molino de rulos con capacidad para preparar 10 tons. de arena por hora.
- 6.- Banda transportadora de 60 cmts. para alimentar arena en verde a la tolva de la moldeadora.
- 7.- Tolva para almacenar 1.5 tons. de arena preparada para uso de la moldeadora.
- 8.- Banda transportadora de 60 cmts. con arranque y paro automático para abastecimiento de la moldeadora.
- 9.- Moldeadora automática marca Hunter con velocidad de producción de 120 moldes por hora.
- 10.- Vía de rodillos con inclinación para deslizamiento de los moldes a la estación de colado.
- 11.- Banda transportadora de 60 cmts. de ancho para dejar el molde en el lugar exacto de la estación de colado.
- 12.- Riel aéreo con 2 grúas viajeras y en cada grúa una olla

- con capacidad para 300 Kgs. de hierro fundido.
- 13.- Vía de rodillos con inclinación para deslizamiento de los moldes colados.
 - 14.- Pistón neumático para empujar los moldes a la banda.
 - 15.- Banda transportadora de 60 cmts. de ancho para llevar los moldes a la parrilla de desmoldeo.
 - 16.- Parrilla vibratoria de desmoldeo con capacidad máxima de carga de 8 tons. y velocidad de desmoldeo de 3 tons. de piezas por hora.
 - 17.- Granalladora marca WHEELABRATOR con capacidad para limpiar 1,500 Kgs. de piezas por hora.
 - 18.- Colector de polvos para la máquina limpiadora.
 - 19.- Esmeril con 2 ruedas abrasivas para el rebardado de las piezas.
 - 20.- Esmeril con 2 ruedas abrasivas para el rebardado de las piezas.
 - 21.- Banda de 60 cmts. de ancho para recuperación de arena, equipada con polea magnética para separar pedazos de hierro.
 - 22.- Banda de 60 cmts. de ancho para recuperar arena que desperdicia la moldeadora.
 - 23.- Banda de 60 cmts. de ancho a tolvas de arena recuperada.
 - 24.- Piel aéreo con 2 grúas para cargar los hornos.
 - 25.- Carrusel semiautomático de fabricación doméstica equipado con sistema hidráulico para apertura y cierre de los moldes, ahumado automático de los mismos con humo de acetileno y soplador de aire para enfriamiento; con capa

pacidad para 12 moldes.

- 26.- Sopladora de corazones marca REDFORD que funciona con arena preparada para el procedimiento "SHELL".

2.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE COLADO A MOLDES DE ARENA EN VERDE:

El ciclo se inicia con la preparación de arena, la cual se efectúa en un mezclador de rulos (semejante a un molino chileno) con capacidad para entregar 10 tons. de arena -- por hora. En este punto se controlan las propiedades básicas de la arena (PH, permeabilidad, % de humedad, resistencia a la compresión y resistencia al corte), este control es indispensable para obtener lo mínimo posible de piezas rechazadas por una arena que no reúna las propiedades requeridas.

Cuando el arena ha alcanzado las propiedades óptimas para el moldeo, es descargada del molino y enviada a una moldeadora automática. En esta fase del proceso se controla la dureza de los moldes y se les hace una inspección visual para desechar los que lleven partes de arena fácilmente desprendibles, los fracturados, los faltos de compresión, los desplazados, etc.

Los moldes buenos se deslizan sobre una placa de aluminio a través de un transportador de rodillos que tiene una ligera pendiente hasta una banda que los coloca en la estación de colado donde se les aplica una carga de 50 Kgs. -- para evitar que la parte superior se levante debido a la presión ferrostática y haya fugas de metal líquido por la unión entre las partes del molde.

Por otra parte, en los hornos se ha fundido el hierro con sus correspondientes elementos de aleación y una vez que ha alcanzado la temperatura de vaciado, y se ha comprobado que tiene la composición correcta se procede a transferirlo a la olla de colado inoculando en el momento de la transferencia. El control de la temperatura se lleva con un pirómetro óptico, y la composición del metal líquido se controla mediante un determinador instantáneo de carbono equivalente, carbono total y silicio; mediante un determinador "Leco" de alta precisión para carbono total y azufre, y mediante algunos análisis por vía húmeda.

Una vez que se ha llenado la olla con metal, se limpia perfectamente de escoria y mediante una grúa viajera se acerca hasta la vía donde se encuentran los moldes para proceder al llenado de cada uno de ellos.

El control en esta fase del proceso se limita a una prueba de cuña, la cual es una medida de la tendencia al blanqueo del hierro y se efectúa vaciando el metal líquido a un molde cuya cavidad es una cuña que presenta velocidades de enfriamiento diferentes, lo que origina un área blanca y un área gris, y el valor que se mide es el ancho de ésta tomando sobre la línea de demarcación entre la zona blanca y la gris. (figura 6)

Después de llenar los moldes y transcurridos algunos minutos como para que la pieza solidifique completamente, se

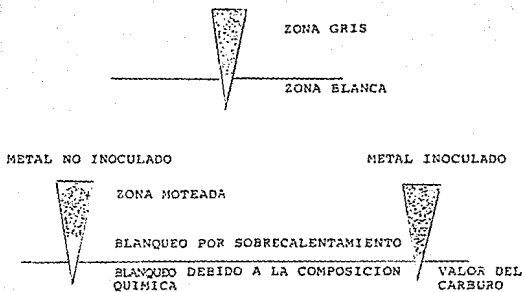


Figura 6.- Análisis de cuñas para determinar la tendencia a la formación de carburos en las piezas.

les retira la pesa de 50 Kgs. y se les da un enfriamiento de 20 a 30 minutos para evitar que las piezas salgan con partes duras debido a un rápido enfriamiento.

Transcurrido el lapso de enfriamiento, los moldes son enviados mediante una banda a la parrilla de desmoldeo donde son separadas las placas que soportan los moldes, las piezas y el arena, recuperándose cada una por distintas partes de la máquina; las placas se retiran manualmente - en el momento que cae el molde a la parrilla, las piezas, mazarotas y demás partes de la alimentación viajan por la superficie de la parrilla para posteriormente caer al piso a través de un canal de descarga que tiene la máquina y el arena pasa a través de los orificios que tiene la parrilla para ser recuperada a través de un sistema de bandas y enviada a las tolvas de almacenaje para arena recuperada previa separación de las partes metálicas mediante una polea magnética que se encuentra al final de la banda marcada en el plano general de localización con el número 21.

La mayoría de las piezas se desprenden de su canal de colada en la parrilla, pero con algunas esto no sucede, por lo que es necesario desprenderlas con un martillo.

Los canales de colada y las mazarotas se retornan a los hornos para ser fundidos nuevamente y las piezas se meten a la granalladora, de donde salen perfectamente limpias y listas para ser seleccionadas.

La selección de piezas requiere de un amplio criterio y gran responsabilidad, pues si ésta no es buena se estarán rechazando piezas útiles, o se estarán enviando al departamento de maquinado piezas rechazadas con el consiguiente aumento de trabajo y disminución de la productividad; por ejemplo, si se envían piezas duras o excéntricas causarán problemas en maquinado tales como rotura o desajuste de las herramientas, lo cual ocasiona pérdida de tiempo en cambiarlas o ajustarlas, además del tiempo de esmerilado y regreso a la fundición.

Se lleva un record de dureza Brinell de 2 piezas de cada olla y cuando ésta se sale de especificaciones o hay algún otro problema que se descubra durante el maquinado - se hacen estudios metalográficos adicionales a los que se practican de rutina.

Con los reportes de la selección de piezas se lleva un record de rechazos por pieza y por defecto para poder tomar las acciones correctivas necesarias.

Las piezas rechazadas se regresan a los hornos para fundirlas y las buenas se llevan en cajas hasta los esmeriles para ser rebarbeadas, contadas y enviadas al departamento de maquinado con lo cual termina el ciclo del departamento de fundición.

En algunas piezas los defectos se notan hasta después del maquinado, ya incluyendolas se tiene el siguiente rechazo para el anillo de camión General Motors.

		% rechazo
piezas coladas	18,258	
inclusiones de arena	1,153	6.3
piezas incompletas	661	3.6
inclusiones de escoria	177	1.0
microgrietas	52	0.3
rechupe	868	4.8
		<hr/>
		16.0

CAPITULO III

DESCRIPCION DEL PROCESO DE COLADO EN MOLDES PERMANENTES

- 3.1 Generalidades del proceso.
- 3.2 Especificaciones para piezas coladas en moldes permanentes.
- 3.3 Descripción de la máquina de moldes permanentes.
- 3.4 Diseño y construcción de los moldes.
- 3.5 Revestimiento de los moldes.
- 3.6 Metalurgia de los hierros colados a moldes permanentes.
 - 3.6.1 Temperatura de fusión y tiempo de permanencia del metal en el horno.
 - 3.6.2 Inoculación
 - 3.6.3 Microestructura de las piezas.
 - 3.6.4 Influencia de elementos aleantes.
 - 3.6.5 Tratamientos térmicos.

CAPITULO III

DESCRIPCION DEL PROCESO DE COLADO EN MOLDES PERMANENTES

3.1 GENERALIDADES DEL PROCESO:

Este procedimiento puede ser definido como un método para producir piezas en moldes metálicos que puedan ser utilizadas repetidamente llenándolos sin aplicación de presión al metal.

Los moldes permanentes de hierro gris proporcionan rigidez, rápida extracción de calor de la colada y mantienen uniformidad de temperatura a través de todo el molde durante el período de solidificación, lo cual permite obtener piezas muy finas, con estructuras más homogéneas y grano más cerrado que las obtenidas con el sistema de moldeo en arena. Las piezas coladas en molde permanente presentan excelente acabado superficial después del maquinado debido a la uniformidad de su estructura, se pueden maquinar a mayor velocidad y hacer en ellas cortes más profundos por lo que el tiempo de maquinado es menor y la vida de las herramientas más larga.

Son grandes las ventajas de calidad y productividad que -- pueden obtenerse colando con este sistema, sin embargo, -- las dificultades que presenta este proceso también lo son y a continuación se citan algunas como ejemplo:

- a) Las piezas deben de ser de forma sencilla, de espesores más o menos uniformes, no inferiores a 5 mm. y con cavi

dades que tengan menor profundidad que anchura. El peso de la pieza debe ser inferior a 12 Kgs. porque para piezas mayores ya no es económico construir máquinas - que los puedan soportar puesto que tendrían que ser muy -- grandes y el ciclo de enfriamiento sería muy lento. - Así pues tenemos como límites el tiempo de enfriamiento, el tamaño, la forma y el peso de la pieza.

- b) Se debe de trabajar dentro de límites muy cerrados de temperatura tanto de los moldes como del metal líquido.
- c) El control sobre la composición del baño y otros factores metalúrgicos debe ser muy estricto.
- d) El volumen de piezas requeridas debe ser grande para - justificar el costo de los moldes.
- e) El colado debe ser continuo, por lo que la velocidad - de fusión debe ser superior o por lo menos igual a la velocidad de colado para conservar los moldes en la -- temperatura de equilibrio adecuada.
- f) La tendencia a la formación de cementita en las piezas es muy grande y con frecuencia se hace necesario un -- tratamiento térmico.

3.2 ESPECIFICACIONES PARA PIEZAS COLADAS EN MOLDES PERMANENTES:

Las compañías automotrices que utilizan piezas de hierro colado en molde permanente tienen la siguiente especificación:

CARBONO TOTAL	3.35 a 3.65%
SILICIO	2.45 a 2.65%
CARBONO EQUIVALENTE	4.17 a 4.53%
MANGANESO	0.60 a 1.00%
FOSFORO	0.15% máximo
AZUFRE	0.15% máximo
RESISTENCIA A LA TRACCION:	24.56 Kg./mm ² mínimo (35,000 libras/pulgada ²)

La resistencia a la tracción se debe medir sobre una barra de 12.82 mm. de diámetro obtenida por maquinado de una barra colada de 22.2 mm. de diámetro.

DUREZA BRINELL: 163 a 197 en la sección más delgada de la pieza, la superficie esmerilada como preparación para medir la huella debe estar entre 0.25 y 0.76 mm. y la prueba deberá efectuarse con una carga de 3,000 Kgs. y penetrador de 10 mm.

TIPO DE GRAFITO: "D" tamaño 5 a 8 en la parte exterior de la pieza, y en la parte central se acepta hasta un 20% de grafito tipo "A" si el tamaño de las hojuelas es de 4 a 6.

MATRIZ: ferrítica con 30% máximo de perlita y debe de estar libre de cementita y segregaciones anormales.

Las piezas deben de estar libres de defectos como: sopladuras, grietas, rechupes, inclusiones de escoria, gotas o juntas frías o, cualquier otro que actúe en detrimento de las propiedades o aspecto de la pieza.

3.3 DESCRIPCION DE LA MAQUINA DE MOLDES PERMANENTES:

Las máquinas para colar en moldes permanentes son mecanismos que abren y cierran moldes metálicos dentro de ciclos preestablecidos con el objeto de solidificar piezas. Las máquinas de alta producción son carruseles que generalmente tienen la forma de un dodecaedro que gira alrededor de un eje central a una velocidad de una revolución en un tiempo que varía de 2 a 10 minutos según las dimensiones de la pieza. En cada cara del dodecaedro va montado un molde permanente el cual en nuestro caso consta de 2 partes, la exterior fija y la interior desplazable en sentido horizontal mediante un pistón hidráulico gobernado por una válvula de 3 vías que hace que cierre el molde, se mantenga cerrado durante el colado y enfriamiento de las piezas, y finalmente abra para poder retirarlas (figura 7).

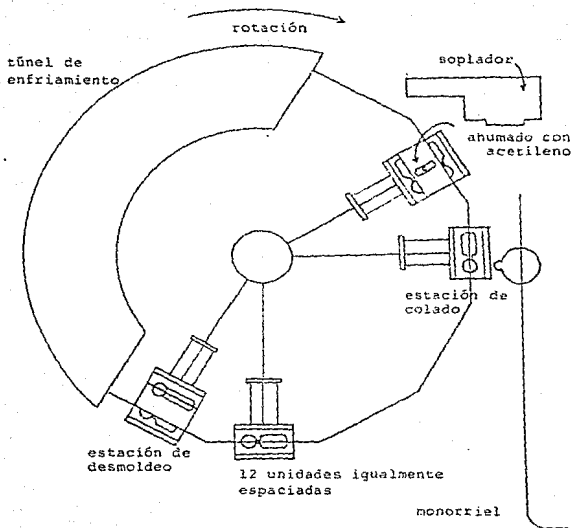


Fig. 7.- Carrusel semiautomático con capacidad para montar 12 moldes permanentes.

La máquina está equipada con un quemador de acetileno para aplicarles un revestimiento de humo a las caras de trabajo de los moldes y tiene un túnel de enfriamiento por el cual circula aire de un soplador para enfriar las 2 mitades del molde.

Cada medio molde va atornillado a una placa vertical que le sirve de soporte, lo cual permite montarlos y demontarlos rápidamente y si fuera necesario, en cada cabezal se puede montar un molde diferente con tal que sus tiempos de operación sean aproximadamente iguales.

En una máquina semiautomática se necesitan 3 operadores, uno que cuele, otro que extrae las piezas y un tercero que las retira y reviste con refractario los moldes cuando esta operación se hace necesaria.

Experimentalmente se debe determinar para cada pieza el tiempo a que ha de efectuarse cada paso, pues la velocidad de rotación debe ser tal que:

- a) Al llegar el molde a la posición de apertura y expulsión la pieza esté completamente solidificada para que no haya derrames de metal, pero que no abra mucho tiempo después porque las piezas salen con secciones duras además de dificultarse la extracción y sobrecalentarse el molde siendo su vida más corta.
- b) El molde tarde en volver a la estación de colado el tiempo justamente necesario para que esté aún caliente a unos

250°C y no haya pérdida de las magníficas propiedades que se obtienen con el rápido enfriamiento, ni tampoco haya superficies endurecidas ocasionadas por un tiempo de permanencia muy prolongado dentro del molde.

Si en ciclos sucesivos se siguen idénticas condiciones la temperatura del molde debe ser la misma al inicio de cada ciclo. Es de gran importancia adoptar un ritmo de operación que corresponda a un apropiado ciclo térmico del molde.

3.4 DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LOS MOLDES PERMANENTES:

Los materiales para construir moldes permanentes para el colado de hierro gris deben reunir las siguientes características:

- a) Resistencia al agrietamiento de la superficie de tra bajo. Las grietas en las superficies activas de los moldes se originan por choque térmico, ya que el molde recibe metal que tiene una temperatura superior a la suya de varios cientos de grados centígrados, y éste soportará tanto mejor las contracciones y dilataciones ocasionadas por los repétidos calentamientos y enfriamientos, cuanto menor sea su coeficiente de dilatación, mayor su conductividad térmica y mayor su tenacidad.
- b) Resistencia a la acción erosiva del metal líquido.
El metal fundido al chocar contra el molde puede originar arrastres de la capa de refractario quedando ex

puestas las caras de trabajo, las cuales deberán resistir la acción del metal.

- c) Resistencia a la deformación. Este factor depende de la resistencia mecánica a la temperatura que alcance el molde.
- d) Maquinabilidad. Los moldes consumen varias horas de maquinado por lo que es conveniente que no presenten dificultades para ello.
- e) Costo accesible.

El Hierro gris es el material más adecuado para la construcción de moldes permanentes por reunir todas las anteriores características, además de tener el costo más bajo. Dos composiciones típicas de hierro gris para la fabricación de moldes permanentes son las siguientes:

CARBONO TOTAL	3.2 a 3.4%	2.8 a 3.3%
SILICIO	2.4 a 3.0%	2.0 a 2.2%
MANGANESO	0.4 a 0.6%	0.2 a 0.3%
FOSFORO	0.15% máximo	0.15% máximo
AZUFRE	0.12% máximo	0.12% máximo

El tamaño y espesor del molde son los primeros factores -- que hay que tomar en cuenta para el diseño. Los moldes de pared delgada alcanzan una mayor temperatura de equilibrio que los moldes de pared gruesa y con esto la posibilidad de que haya carburos en las piezas es menor, pero la vida del molde es más corta. Los moldes de secciones gruesas --

tienen una temperatura de equilibrio menor por lo que su tendencia a la formación de carburos es mayor, pero también su vida es más larga.

En países que tienen bien desarrollado este sistema han encontrado que el consumo mínimo en Kgs. de moldes permanentes se obtiene cuando la razón del peso del molde/peso de la pieza se encuentra entre 4 y 6.

El espesor de pared del molde es el factor que normalmente regula el enfriamiento. A la pared más delgada de la pieza debe corresponder el menor grosor del molde, y a mayores espesores de la pieza deben corresponder mayores espesores de pared del molde con el objeto de que el enfriamiento sea lo más uniforme posible de manera que ni el molde sufra excesivas tensiones, ni en la pieza se originen los perjudiciales puntos calientes o fríos. Este aspecto es muy importante porque determina la vida del molde y la calidad de la pieza ya que ésta será tanto mejor cuanto más uniforme sea su estructura. Un poderoso auxiliar en el control de la temperatura del molde lo constituyen los pernos de enfriamiento en la parte posterior -- del molde, pues si éstos se encuentran correctamente espaciados disipan el calor de ciertas regiones y conservan mayor uniformidad de temperatura en todo el molde.

Los sobreespesores para maquinado suelen ser de 1.5 mm. en las caras exteriores y de 2.5 mm. en las interiores. Para poder extraer las piezas con facilidad se le deben -

dar a las cavidades del molde ángulos de salida que normalmente son de 3° en las superficies exteriores y de 7° en las interiores. También hay que dar al molde una subdimensión de aproximadamente 0.6 mm. para el revestimiento de refractario.

NUMERO DE COLADAS POR MOLDE.- Es una consideración importante en el diseño del molde; el objetivo es tener el número óptimo de cavidades para obtener buenas coladas al menor costo. Si en el molde hay espacio disponible para aumentar el número de piezas, no siempre aumentar el número de éstas aumenta la productividad, porque en primer lugar el peso de metal a ser colado por molde aumenta con lo que el tiempo por ciclo de la máquina también aumenta, y, en segundo lugar el porcentaje de piezas rechazadas también podría aumentar.

El diseño y uso correcto de las alimentaciones es lo que determina la vida de los moldes, la experiencia indica que un severo uso tiene lugar cuando el metal durante el colado choca en la base del poste y no en el cono de alimentación, o cuando las alimentaciones son muy restringidas.

El colado se puede hacer por abajo, en forma lateral o por arriba y las alimentaciones de ataque pueden ser varias o una sola. El sistema que más se utiliza para el hierro gris es en el que el llenado se hace por abajo por tener la ventaja de que el metal sube en forma suave y continúa por lo que las cavidades se llenan con menor turbulencia -

que con las otras formas de colado, sin embargo tienen la desventaja de que la solidificación no tiene lugar en la dirección correcta y el metal más caliente queda abajo, -- aún cuando las corrientes de convección aseguran cierto -- equilibrio.

FABRICACION DE LOS MOLDES PERMANENTES.- Se hace un modelo de madera sobredimensionado en tal forma que en todas las caras de trabajo tenga un exceso de material de aproximadamente 4 mm. para el posterior maquinado a las dimensiones requeridas, con este modelo se hacen los negativos moldeando en cualquiera de los sistemas conocidos, se cuelan los moldes, se maquinas los planos de junta y las caras de trabajo, se ajusta el sistema de alimentación completo y se comprueba que los espacios entre las caras del molde sean paralelos para evitar fugas de metal.

3.5 REVESTIMIENTO DE LOS MOLDES:

Uno de los factores más importantes en la vida del molde es el recubrimiento utilizado. Las capas adyacentes a las superficies de trabajo de los moldes están sujetas a esfuerzos de tracción y de compresión muy altos debido a los rápidos calentamientos y enfriamientos que sufren. El revestimiento del molde debe atenuar estos esfuerzos, por lo que debe ser un aislante térmico que mantenga la temperatura del molde muy por debajo de la del metal que se cuela, y además se utiliza por las siguientes razones:

- a) Prevenir la solidificación prematura del metal.
- b) Controlar la velocidad y dirección de solidificación de la pieza y con esto su estructura.
- c) Evitar que el metal fundido se suela al molde.

Los revestimientos para los moldes se pueden clasificar en aislantes y lubricantes, algunos de estos pueden cumplir con ambas funciones, pero por lo general los requerimientos de un molde no se cumplen con uno solo.

El revestimiento aislante o inicial puede consistir en una mezcla de silicato de sodio con diatomita en razón de 1:4 en volumen con suficiente agua para permitir su aplicación (generalmente 10 partes en volumen), esta mezcla se puede aplicar al molde caliente a una temperatura de aproximadamente 200°C y su vida es relativamente larga porque puede ser útil para colar durante varios turnos en forma continua con solamente reparar algunas secciones que así lo requieran por estar sujetas a mayor erosión.

El revestimiento debe tener buena resistencia mecánica, -- buena adherencia al molde, ser relativamente fácil de remover, inerte al metal colado y no producir sustancias gaseosas; para aplicarlo la superficie del molde debe estar limpia, libre de grasas, con las partes a ser recubiertas ligeramente granalladas y el molde debe tener una temperatura que permita la rápida evaporación del agua. Los revestimientos gruesos son especialmente útiles en los postes, corredores y alimentaciones porque proporcionan mejor

aislamiento que los delgados obteniéndose un enfriamiento menos severo en el metal, sin embargo tienen mayor tendencia a desprenderse, por lo que no se recomienda su uso en las cavidades del molde.

El revestimiento lubricante es una capa de hollín depositada en las superficies de trabajo del molde y es necesario aplicarla antes de cada colada, esta capa se obtiene quemando acetileno a baja presión en tal forma que se obtenga la mayor cantidad posible de humo y se genere la mínima cantidad de calor, el espesor de este depósito debe ser de 0.1 a 0.2 mm. y facilita la remoción de la pieza - además de proporcionar un sello entre las caras del molde minimizando las fugas de metal y ser un excelente aislante térmico.

Un revestimiento al molde de espesor controlado puede igular la velocidad de solidificación entre secciones gruesas y delgadas, aplicando una capa más gruesa en las secciones ligeras y una capa menor en las secciones gruesas.

3.6 METALURGIA DE LOS HIERROS COLADOS A MOLDES PERMANENTES:

Como se mencionó, mediante este procedimiento se pueden obtener piezas con una estructura metalográfica completamente exenta de carburos libres, con gran resistencia a la -- tracción y que pueden ser maquinados a gran velocidad sin necesidad de tratamiento térmico.

La estructura de los hierros colados se encuentra gobernada por los siguientes factores:

- a) Propiedades físicas y químicas de la aleación.
 b) Velocidad de enfriamiento.

Se sabe que la velocidad de enfriamiento influye grandemente en las propiedades mecánicas, y que ésta depende del mó dulo de enfriamiento de la pieza, de la difusividad térmica del molde, de la temperatura de colado, de la temperatura del molde y de la conductividad térmica del recubrimiento. Algunas de las anteriores variables no son indepen--- dientes, por ejemplo, la temperatura de colado y la temperatura del molde están íntimamente relacionadas, y a mayor temperatura de colado, mayor temperatura de equilibrio del molde.

Para obtener una estructura completamente gris en la condici ón de colada se requiere que el hierro esté libre de el gmentos carburantes, que tenga composición cercana a la euté ctica, que se inocule correctamente, y que la temperatura mínima del molde esté de acuerdo a lo especificado en la siguiente tabla:

para secciones de 30 mm. de diámetro	120°C
" " " 20 mm. " "	250°C
" " " 13 mm. " "	275°C

Ref. AFS transactions vol. 81 1973.
 pag. 262

La colada a moldes fríos tiene muchas desventajas debido al gradiente de temperatura tan grande, causando heterogeneidad estructural, excesivas tensiones internas, fracturas al molde, etc. En la práctica la temperatura del molde más apropiada es de 350°C para la mayoría de las piezas si no se quieren trabajar dentro de límites muy estrechos los diferentes factores que afectan la estructura.

3.6.1 TEMPERATURA DE FUSION Y TIEMPO DE PERMANENCIA DEL METAL EN EL HORNO:

A pesar de las grandes ventajas de calidad que se obtienen fundiendo en hornos de inducción, los tiempos de permanencia largos en el horno son inconvenientes - debido a la gradual pérdida en el contenido de carbono y a la destrucción de los embriones de nucleación. La temperatura de vaciado a las cucharas de colado debe ser tal que todas las piezas sean coladas entre 1350 y 1200°C porque en este rango de temperatura se obtienen las mejores propiedades al menor costo.

3.6.2 INOCULACION:

Es un instrumento de control de la microestructura que se logra mediante la adición de ciertas sustancias al chorro de metal en el momento de la transferencia del horno a la cuchara de colado. Lo anterior afecta las propiedades del metal hasta un grado tal que las variaciones no pueden ser explicadas en función del cambio

químico producido, pero durante dicha operación se proporcionan abundantes centros de nucleación a la fase -- grafito, evitándose con esto la formación de carburos.

3.6.3 MICROESTRUCTURA DE LAS PIEZAS:

La microestructura en secciones delgadas, generalmente está constituida por ferrita y grafito tipo "D" con tamaño entre 6 y 8, pero si la sección es grande el grafito tipo "D" persiste en el borde y hacia el centro habrá grafito de los tipos "A" y "B" de tamaño 4 a 6 en una matriz ferrito-perlítica.

La velocidad de enfriamiento es otro de los factores -- que afecta grandemente las propiedades, pues si esta es muy alta puede ocasionar la formación de cementita, pero si es adecuada nos produce una microestructura constituida por finas hojuelas de grafito y ferrita de grano pequeño, lo cual nos da piezas libres de porosidades y segregaciones debido a que el metal solidifica inmediatamente después de colado y la expansión normal causada por la precipitación del grafito no puede tener lugar debido a la rigidez de las paredes del molde, obteniéndose una estructura más compacta.

3.6.4 INFLUENCIA DE ELEMENTOS ALEANTES:

SILICIO. -- Es un fuerte grafitizante durante la solidificación del líquido, inhibe la formación de perlita y si se encuentra en grandes cantidades disminuye drásticamente la resistencia a la tracción como se puede ver en

la figura 8.

FOSFORO.- Ejerce una ligera influencia grafitizante, - promueve la matriz perlítica y se combina con el hierro para formar fosfuro de hierro (esteadita), el cual tiene gran tendencia a segregarse en las uniones de -- las celdas eutécticas, pero debido a la rápida solidificación, la segregación de la esteadita no es mucha - ni continua por lo que sus efectos no son tan nocivos a la maquinabilidad y la resistencia como en las piezas coladas en arena.

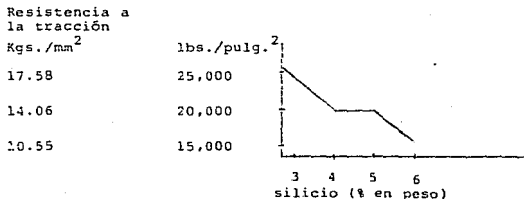


Fig. 8.- Resistencia la tracción contra contenido de silicio para barras de 3.05 mm. de diámetro de -- hierro gris coladas en molde permanente.

Ref. AFS transactions Vol. 77, 1969, página 299.

AZUFRE Y MANGANESO.- Debido a la bien conocida interacción entre el azufre y el manganeso en el hierro, los efectos de estos elementos es conveniente enunciarlos en forma - simultánea. El azufre disminuye las propiedades físicas

del hierro, y para obtener una estructura óptima con un mínimo de perlita y cementita, se puede alear con manganeso de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Mn} = 1.7 \times \% \text{ S} + 0.20$$

El manganeso después de cierto porcentaje también resulta perjudicial por ser promotor de la perlita, la cual es indeseable en piezas coladas a molde permanente.

3.6.5 TRATAMIENTOS TERMICOS:

Se ha mencionado con anterioridad que mediante controles muy estrictos de la composición y temperatura del metal, así como de la temperatura del molde es posible obtener coladas con excelentes propiedades mecánicas y de maquinabilidad sin necesidad de tratamiento térmico previo. Los anteriores controles no son siempre posibles debido a la falta de equipo de control en algunas empresas, o al tamaño o a la forma de la colada, o no se quiere utilizar demasiado tiempo en precisar composiciones del metal fundido, etc.; es entonces cuando se hace necesario un tratamiento térmico para eliminar tensiones residuales, carburos superficiales que se hayan podido producir, y en general homogeneizar la estructura.

Un tratamiento térmico de normalizado es suficiente para obtener una distribución uniforme de grafito tipo -- "D" en una matriz completamente ferrítica. 90 minutos de calentamiento y 60 minutos de permanencia a 950°C, seguidos de un enfriamiento al aire son regularmente --

las condiciones requeridas para este tratamiento.

Es conveniente, si se quiere dar el tratamiento de normalizado de inmediato, dejar enfriar las piezas por debajo de 700°C. Esto origina gran cantidad de núcleos de grafito que favorecen una buena dispersión de este componente y dan lugar a mejores propiedades mecánicas en la pieza.

CAPITULO IV

TRABAJO EXPERIMENTAL CON MOLDES PERMANENTES

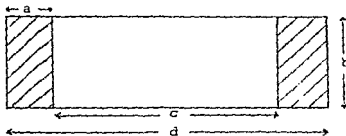
- 4.1 Fabricación, montaje y preparación del molde.
- 4.2 Preparación del metal.
- 4.3 Ciclo del molde.
- 4.4 Selección de piezas y Metalografía.
- 4.5 Ensayos con núcleos.
- 4.6 Problemas de la colada a moldes permanentes.
- 4.7 Defectos de la colada y posibles soluciones.

CAPITULO IV

TRABAJO EXPERIMENTAL CON MOLDES PERMANENTES

4.1 FABRICACION, MONTAJE Y PREPARACION DEL MOLDE:

La puesta en funcionamiento de un molde permanente incluye varias etapas de las cuales hablaremos a continuación. Se experimentó con el anillo de camión General Motors -- por ser una pieza de sección muy gruesa que no presenta tendencia al blanqueo. En la figura 9 podemos ver sus dimensiones después de maquinado.



$$a = 2.68 \text{ cm.} = 1.055 \text{ pulgadas.}$$

$$b = 5.14 \text{ cm.} = 2.025 \text{ pulgadas.}$$

$$c = 11.76 \text{ cm.} = 4.63 \text{ pulgadas.}$$

$$d = 17.12 \text{ cm.} = 6.74 \text{ pulgadas.}$$

Fig. 9 .- Corte seccional de un anillo de camión General Motors.

CALCULO DIMENSIONAL DE LA CAVIDAD DEL MOLDE:

Altura.- Como se puede observar de la anterior figura, esta es de 5.14 cm., pero como el molde se decidió fabricarlo de 2 partes exactamente iguales, la profundidad de cada medio molde deberá ser:

2.57 cm.

- + 0.013 cm. considerando 0.5% de contracción.
- 0.10 cm. de sobreespesor para maquinado.
- 0.06 cm. de espesor para los revestimientos de diatomita y humo de acetileno.

2.743 cm.

Diámetro exterior:

17.12 cm.

- + 0.085 cm. considerando 0.5% de contracción.
- 0.20 cm. de sobreespesor para maquinado de la periferia.
- 0.12 cm. de espesor de los revestimientos de la periferia.

17.525 cm.

Diametro interior:

11.76 cm.

- 0.20 cm. para maquinado de la parte interior.

11.56 cm.

11.56 cm.

- 0.12 cm. de espesor de los revestimientos por el interior.

11.44 cm.

11.44 cm.

- + 0.057 cm. considerando 0.5% de contracción.

11.497 cm.

Las dimensiones anteriores son las mínimas, y para que la pieza pueda ser extraída con facilidad, se requiere dar ángulos de salida a las caras perpendiculares al plano de junta de los medios moldes, después de algunos experimentos se llegó a la -

conclusión de que en el diámetro exterior del anillo un ángulo de salida de 30° es suficiente, pues la pieza al contraer por enfriamiento tiende a separarse del molde, no siendo así en el diámetro interior del anillo donde sucede lo contrario, ya que a menor temperatura el anillo presenta mayor dificultad para extraerse debido a que por efecto de la contracción, éste se cierra más sobre el macho metálico del molde, lo cual hace necesario un ángulo de salida de 80° . Los ángulos de salida anteriormente mencionados se deben dar al molde en el sentido de aumentar las dimensiones de la pieza, porque de lo contrario ésta quedará falta de material.

MAZAROTA

La mazarota en la fundición gris tiene por objeto compensar la contracción de la fundición en estado líquido y durante una pequeña parte del tiempo de solidificación. Si se cuele hierro gris de composición eutéctica con un sobrecalentamiento de 150°C sufre una contracción en estado líquido de 1.35%, pero durante la precipitación del grafito hay un hinchamiento de solidificación eutéctica del 2.18%, lo cual equivale a un hinchamiento total de 0.83%. Si esta misma aleación se colara con un sobrecalentamiento de 240°C la variación volumétrica total sería prácticamente nula. Los moldes rígidos no pueden ser forzados bajo la influencia de la presión metalostática y la presión debida al hinchamiento produce un empuje de metal líquido hacia el centro de la pieza asegurando una cierre

ta autoalimentación que se produce en la primera mitad del -- período de solidificación.

Se comprende así como las piezas fundidas en molde rígido -- pueden ser obtenidas sanas empleando mazarotas cuya capacidad de metal líquido sea pequeña. Basta, en efecto, que puedan -- suministrar fundición líquida aproximadamente durante el 20% del tiempo de solidificación de la pieza.

Teniendo en cuenta las consideraciones hechas respecto al car bono equivalente y de la temperatura de sobrecalentamiento en caso de moldes rígidos, es correcta la relación siguiente:

Módulo de la mazarota = 0.60 x módulo de la pieza.

CALCULO DE LA MAZAROTA.- Para que una mazarota realice satisfactoriamente su función debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) No terminar su solidificación antes que la pieza que ha de alimentar.

Como los tiempos de solidificación son proporcionales a

$$\left(\frac{\text{volumen}}{\text{Superficie}} \right)^2$$

$$\left(\frac{V}{S} \right)_{\text{mazarota}} \geq \left(\frac{V}{S} \right)_{\text{pieza}}$$

La expresión $\frac{V}{S}$ recibe el nombre de módulo de enfriamiento, -- por tanto:

$$M_m \geq M_p$$

- b) Tener un volumen que sea suficiente para compensar las con tracciones líquidas y de solidificación que la pieza sufra.

- c) Tener dentro de su zona de acción todas las partes de la pieza.

Cálculo del módulo de la pieza:

Como se trata de un anillo $M = \frac{a \cdot b}{2(a+b)}$

$a = 2.68 \text{ cm.} + 0.5 \text{ cm.}$ (sobredimensión para maquinado y aumento, debido al ángulo de salida) = 3.18 cm.

$b = 5.14 \text{ cm.} + 0.2 \text{ cm.}$ (sobredimensión de maquinado) = 5.34

$$M_{\text{pieza}} = \frac{3.18 \times 5.34}{2(3.18 + 5.34)} = \frac{16.981}{17.04} = 0.9965$$

$$M_{\text{mazarota}} = 0.6 \times 0.9965 = 0.5979$$

Diámetro de la mazarota = 3.5874 cm.

En fundición gris la zona de acción de la mazarota puede considerarse ilimitada, por lo que todas las partes del anillo estarán dentro de su zona de acción.

SISTEMA DE ALIMENTACION.- Es la parte de la cavidad del molde a través de la cual entra el metal para llenar la impresión de la pieza; su diseño es el principal medio de control del flujo de metal líquido y debe de cumplir con lo siguiente:

- La velocidad y dirección de flujo del metal debe ser tal que permita el completo llenado del molde antes de solidificar.
- El flujo de metal debe ser terso y uniforme, con el mínimo posible de turbulencias, y debe ser tal que no provoque que haya aire atrapado, ni oxidación del metal o erosión

- del molde.
- c) Debe tener trampas incorporadas para separar inclusiones no metálicas.
 - d) Debe promover una distribución de temperatura favorable a la alimentación de la pieza cuando ésta empieza a solidificar.

Todo lo anterior se debe de cumplir de la manera más económica posible.

Cualquier sistema de alimentación consta esencialmente de 4 partes que son las siguientes: tazón de alimentación, vástago, corredor y alimentación de ataque, las cuales deben ser diseñadas para dar un flujo definido hacia la cavidad del molde, el cual como sabemos queda determinado por la forma y dimensiones de los pasajes.

No se cuenta con datos para el cálculo de corredores, vástago y alimentaciones de piezas coladas a moldes permanentes, por lo que se tomarán como base los cálculos para piezas coladas en arena y posteriormente según los resultados de las pruebas se harán las modificaciones necesarias.

TAZON DE ALIMENTACION.- Debe ser de un diseño tal que pueda manejar el flujo de metal, no cree turbulencias y ayude a la remoción de suciedad y escoria. Sus dimensiones están basadas en el diámetro del vástago (D).

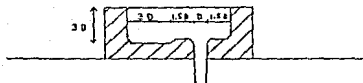


Fig. 10.- Relación dimensional del tazón de alimentación.

VASTAGO.- Se ha demostrado mediante un gran número de experimentos que los vástagos cilíndricos jamás se llenan completamente y aspiran gases al interior del molde durante el llenado. Este problema puede ser solucionado haciéndolos troncocónicos de un diámetro menor en la parte inferior. El grado de disminución gradual necesario para prevenir aspiración está basado en la fórmula $AE = AC \sqrt{\frac{H}{HB}}$

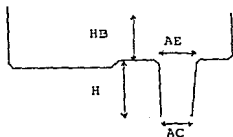


Fig. 11.- Relación de áreas y alturas del vástago.

AE = área de la entrada

AC = área restringida

H = altura del vástago

HB = altura del metal arriba del vástago.

CORREDOR.- Su función es llevar el metal a las alimentaciones, reducir turbulencias, apartar impurezas y controlar la velocidad del metal. Su altura debe ser 1.5 veces su ancho y el área de su sección 10% menor que la del vástago.

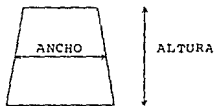
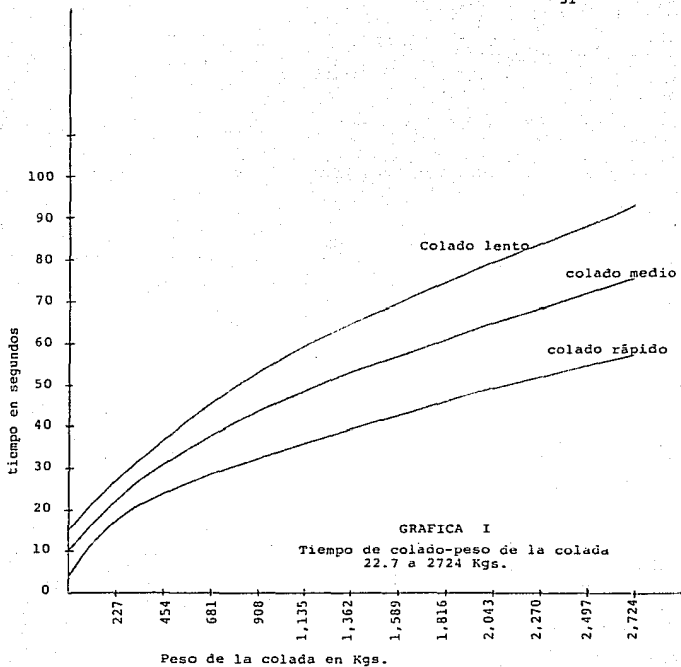


Fig. 12.- Relación ancho-altura del corredor.

ALIMENTACIONES.- Se deben diseñar para proporcionar una entrada de metal lo más quieta posible, deben actuar como trampas de impurezas, tener menor área en la parte cercana al corredor y un área mayor en la parte cercana a la pieza. Puede ser una o varias y el área total de sus secciones debe ser 10% menor que la del corredor.

CALCULOS.- La pieza con su mazarota y todo el sistema de alimentación deberá pesar 7.4 Kgs. (16.3 libras). Como el colado a moldes permanentes debe ser rápido, de las curvas de Meehanite para esta velocidad de colado que se necesita se encuentra que el tiempo de llenado del molde debe ser de 5 segundos (ver gráfica 1).

La velocidad de la corriente del metal fundido en el sistema de alimentación para minimizar la erosión y la entrada de suciedad al molde debe ser como máximo de 161.54 cm./seg. (5.3 - piés/seg.), esto equivale a pasar 7.04 Kgs. a través de una --



sección de 1 cm.^2 (100 libras a través de una sección de 1 - pulgada cuadrada) en 6.3 segundos.

De acuerdo a los datos anteriores:

$$7.4 \text{ Kgs./5 seg.} = 1.48 \text{ Kgs./seg.}$$

$$1.48 \text{ Kgs./seg.} \times 6.3 \text{ seg.} = 9.32 \text{ Kgs.}$$

$$7.04 \text{ Kgs.} - - - - 1 \text{ cm.}^2$$

$$9.32 \text{ Kgs.} - - - - X$$

$X = 1.32 \text{ cm}^2$ y esta es el área necesaria para las alimentaciones.

Area del corredor:

$$1.32 \text{ cm}^2 + 0.13 \text{ cm}^2 = 1.45 \text{ cm}^2.$$

Sería un corredor con una altura de 1.5 cm., 0.8 cm. en la parte superior y 1.2 cm. en la parte inferior.

Area del vástago:

$$1.45 \text{ cm}^2 + 0.14 \text{ cm}^2 = 1.59 \text{ cm}^2.$$

El vástago tendría 1.4 cm. de diámetro en la parte inferior y 2.2 cm. en la parte superior de acuerdo a los siguientes cálculos:

$$AE = 1.59 \text{ cm}^2 \sqrt{\frac{20.5}{4}} = 3.6 \text{ cm}^2$$

3.6 cm^2 corresponden al área de un círculo de 2.2 cm. de diámetro.

RELACION DEL PESO DEL MOLDE AL PESO DE LA COLADA.- El peso calculado de la colada deberá ser de 7.4 Kgs. y según se mencionó, una buena relación del peso del molde al peso de la colada es de 6:1, por lo que el peso del molde debería ser de -

44.4 Kgs., pero como esta pieza es de sección muy gruesa, temiendo que esto fuera a causar un rápido deterioro en el molde se decidió hacer cada medio molde con un peso de 30 Kgs., lo que en total nos da un peso de 60 Kgs. y una relación de 8:1.

FORMA DE MOLDE PERMANENTE.- La forma escogida para disipar calor en forma adecuada fué como la de la figura 13, con el anillo colocado al centro. El molde constaría de 2 partes -- que pudieran ensamblar verticalmente por medio de un perno central de localización, la parte posterior del molde llevaría pernos de enfriamiento distribuidos uniformemente en toda el área, además de 4 bases cilíndricas con perforaciones roscadas para poder fijar con tornillos cada medio molde a su respectiva placa vertical, y que a la vez sirven como localizadores de los 2 medios moldes para evitar desplazamientos de una mitad de la pieza con respecto a otra.

El modelo se fabricó de madera, dimensionándolo en tal forma que al maquinarse los moldes permanentes pudieran dárseles las dimensiones calculadas anteriormente.

Los moldes se colaron con hierro gris de la misma composición que el utilizado para las piezas coladas en arena y se maquinaron a las dimensiones requeridas.

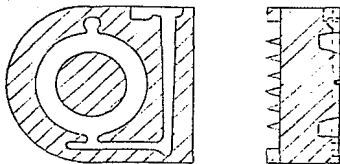


Fig. 13.- Vista de frente y corte seccional de una de las 2 partes de que consta un molde permanente.

ALINEACION DEL MOLDE.- Es necesario hacer que coincidan las cavidades de ambas partes del molde para que no haya desplazamientos en la pieza de una parte con respecto a la otra, esto se logra cerrando las 2 medias partes del molde y colocando entre ellas y en la parte posterior del molde placas patrón con marcas que nos indican el sitio exacto en que se deben barrenar y machuelear las bases de los moldes para que tanto la pieza como alimentaciones, mazarotas y corretores queden centrados.

PREPARACION DE LAS SUPERFICIES DE TRABAJO DEL MOLDE.- Es necesario quitar todos los defectos visibles que pudieran tener las superficies de trabajo del molde, por ejemplo alguna porosidad que podría ser rellenada con soldadura y emparejada con alguna herramienta o con lija, porque de lo contrario esa cavidad nos impediría la extracción de la pieza. También habría que redondear las aristas ligeramente porque éstas originan puntos calientes, o cualquier otra imperfección como podría serlo alguna protuberancia sobre superficies no maquinadas como el cono de alimentación, corredor y entradas de metal a la pieza, cuello de la mazarota, etc.

PREPARACION DE LA PINTURA AISLANTE.- La conductividad térmica de los recubrimientos varía con el uso, en algunos de ellos como el grafito la variación es muy grande, pero para la diatomita la variación es muy pequeña.

La diatomita es uno de los aislantes térmicos más efectivos,

y su conductividad térmica casi no aumenta con el tiempo, motivo por el cual fue escogida para preparar el revestimiento de las caras de trabajo mediante la siguiente fórmula:

Silicato de Sodio	100 ml.
Diatomita	100 gr.
Agua	900 ml.

Las anteriores substancias se mezclan perfectamente y se aplica el revestimiento con pistola de aire en capas uniformes y delgadas sobre el molde caliente.

RECUBRIMIENTO DE LOS MOLDES CON PINTURA AISLANTE.- Después que los moldes se han ajustado en todas sus dimensiones, se procede a la oxidación de las caras de trabajo de éstos, pues está plenamente comprobado que el refractario aislante tiene mejores propiedades si se aplica sobre una superficie oxidada. Esta oxidación se puede efectuar con la disolución de algún compuesto oxidante como ~~permanganato~~ permanganato de potasio, nitrato de amonio, o simplemente con agua.

Se calientan los moldes a una temperatura de aproximadamente 200°C para que puedan evaporar con facilidad el agua contenida en la pintura, la temperatura del molde debe ser uniforme para que el revestimiento pueda ser aplicado en forma correcta. El espesor de la capa debe ser lo más uniforme y delgado posible y si se requiere una capa gruesa como en nuestro caso, es recomendable aplicar una primera capa, dejarla secar perfectamente, aplicar una segunda capa, también dejarla secar, y de requerirse mayor espesor se repetirán los pasos

anteriores tantas veces como sea necesario hasta lograr el espesor deseado. Revestimientos de gran espesor como los que aquí - se requieren deberán estar entre 0.5 y 0.6 mm. y si se colocan en una sola aplicación tienen gran tendencia a descascararse de inmediato, el espesor de estos revestimientos es necesario controlarlo con un medidor electromagnético de espesores.

MONTAJE DE LOS MOLDES EN LA MÁQUINA.- Una vez que los moldes se han revestido se atornillan a las placas verticales de la máquina que los han de soportar, se cierran y se verifica que todas las caras de junta tengan un cierre perfecto pues de lo contrario habrá fugas de metal; si no es así, se procederá a ajustarlos mediante arandelas colocadas entre la placa vertical de la máquina y las bases del molde hasta que los planos de junta sean perfectamente paralelos.

REVESTIMIENTO DE LOS MOLDES CON HUMO DE ACETILENO.- Cuando los moldes han sido montados se dejan separados y se hacen pasar a través de la estación de ahumado de la máquina, en la cual automáticamente se abre el paso de acetileno cuando el molde empieza a pasar frente al ahumador de acetileno y suspende el paso de acetileno al quemador cuando el molde ha terminado de pasar. Esta es una fase simple pero que requiere de gran cuidado pues el humo debe penetrar perfectamente a todas las cavidades del molde que tienen contacto con el metal. Este recubrimiento además de actuar como aislante térmico es también un excelente lubricante y si no se aplica en cantidad

suficiente la pieza se quedará pegada al molde, sobre todo si éste aún no tiene su temperatura de trabajo. Si ambos revestimientos están bien aplicados al tener $1,300^{\circ}\text{C}$ el metal en contacto con el molde, a la parte metálica de atrás del revestimiento únicamente le llegará una temperatura de aproximadamente 700°C .

COMPROBACION DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS MOLDES.- Después de revestir los moldes se calientan con un quemador y se cuelean para comprobar que no haya fugas de metal, que su apertura y cierre sean buenos, que no haya desplazamientos de uno de los medios moldes con respecto al otro, etc.

COLADO DE LOS MOLDES Y CHEQUEO DE LAS PIEZAS.- Si todo lo anterior es correcto se procede a colar las piezas con hierro de la composición que finalmente se utilizará y se determina si la sección de alimentación, mazarotas y corredores son suficientes para el completo llenado del molde, también se hace un análisis dimensional de toda la pieza y de ser necesario se hacen todos los ajustes requeridos con lo cual el molde estará listo para el colado de muestras, las cuales deben ser ensayadas y aprobadas mecánica y metalográficamente para su envío al cliente quien deberá dar la aprobación final antes de meter el molde a producción.

4.2 PREPARACION DEL METAL:

La composición del metal a utilizar en este sistema de colado depende principalmente del tamaño de sección de la pieza, para el anillo con que estamos experimentando 4.10% de carbono equivalente es suficiente para obtener una estructura completamente libre de carburos si el molde se encuentra a su temperatura de trabajo y perfectamente revestido. Sin embargo se trabajó con carbono equivalente de 4.20 a 4.30, correspondiente a un carbono total de 3.40 a 3.50 y silicio de 2.30 a 2.50 para trabajar con mayor margen de seguridad, porque si el molde no ha alcanzado su temperatura de equilibrio, o si la pieza permanece en el molde mayor tiempo del requerido, o si el revestimiento no tiene el espesor suficiente, se formarán carburos en la superficie y en las aristas de la pieza. *

Los demás elementos no se analizan pero se tiene control sobre ellos con el tipo de carga agregado al horno, la cual consiste en lámina de desperdicio de troquelado, lingote de calidad certificada y nuestros propios retornos de fundición.

Se debe trabajar estrictamente dentro de los límites de composición mencionados, porque si el carbono equivalente es inferior a 4.20 hay tendencia a la formación de carburos, y si éste pasa de 4.34% encontramos en las piezas gran cantidad de grafito flotado sobre todo en las últi-

mas en colarse debido al alto carbono equivalente para ese tamaño de sección.

TEMPERATURA Y TIEMPO DE PERMANENCIA DEL METAL EN EL HORNO.

Cada horno nos puede dar aproximadamente 450 Kgs. de metal fundido por hora a la temperatura seleccionada de $1,350^{\circ}\text{C}$ -- ($2,462^{\circ}\text{F}$) para la transferencia a la cuchara de colado; en el vaciado a la cuchara, descoriado y transporte de ésta hasta la estación de colado, la temperatura del metal desciende aproximadamente 50°C , con lo cual la primera pieza se cuele como a $1,300^{\circ}\text{C}$ y la última a $1,200$.

La pieza con que estamos experimentando con todo y su colada tiene un peso 7.4 Kgs. y como en el carrusel caben 12 moldes en cada vuelta se consumen 89 Kgs. de metal, el tiempo de colado entre cada uno de los moldes es de 50 segundos, lo cual nos dá un tiempo de 10 minutos para cada vuelta del carrusel, o sea 20 minutos para vaciar la cuchara de colado por tener capacidad para 2 vueltas del carrusel. En volver a llenar la cuchara con metal del horno, descoriarla y regresarla al carrusel se utilizan 5 minutos por lo que el tiempo de colado es de 178 Kgs. en 25 minutos, o sea 427 Kgs./hr. Si comparamos la velocidad de colado con la de fusión observamos que son muy semejantes por lo que el tiempo de permanencia del metal en el horno puede ser el mínimo posible y cuando sea necesario hacer algún ajuste en la composición quedan algunos minutos para hacerlo por ser un poco mayor la velocidad de fusión que la de colado.

INOCULACION.- Un 0.3% de inoculante es suficiente para obtener coladas libres de carburos y con buenas propiedades mecánicas; se hicieron pruebas con tres inoculantes a base de ferrosilicio, no encontrándose diferencia en la estructura metalográfica de las piezas.

DESCORIADO.- Es necesario retirar completamente la escoria de la cuchara de colado antes de comenzar a llenar los moldes, pues en el diseño de éstos no están proyectadas trampas de escoria y el control de ésta consiste en una buena limpieza y uso de cucharas de tetera como la figura 14 en la cual el metal vertido sale del fondo de ésta.

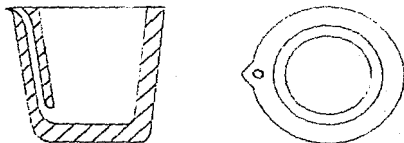


Fig.14.- Corte seccional y vista en planta de una cuchara de colado en la cual el metal sale del fondo.

CONDICIONES DE COLADO.- En el momento de iniciar la producción de piezas, los moldes ya deberían tener una temperatura cercana a los 300°C, pero en la Compañía no se cuenta con los medios necesarios para calentarlos de manera uniforme.

Se intentó precalentarlos con dos quemadores de gas,

pero la temperatura no fue uniforme, además de que cuando los últimos estuvieron calientes los primeros ya estaban fríos. - Debido al problema anterior se optó por colar a los moldes -- fríos, únicamente revistiéndolos con un gran exceso de humo - de acetileno, sin trabajar el soplador de aire y desmoldeando rápidamente para evitar que la pieza se cerrara sobre el ma- cho metálico y no fuera posible su extracción. El exceso de humo de acetileno solo es necesario en las dos primeras pie- zas coladas a cada molde, porque a partir de la tercera ya - no hay cambios substanciales en la estructura de éstas, por lo que a partir de aquí la producción puede continuarse en -- forma normal. Las piezas obtenidas en las dos primeras vuel- tas son todas para el rechazo por tener defectos como gotas frías, juntas frías, presencia de cementita, etc.

La operación de empezar a colar a moldes fríos desde ningún punto de vista es recomendable, pues salen más piezas de re- chazo, y el deterioro del molde es más rápido debido al alto gradiente de temperatura quedando inutilizado prematuramente con el consiguiente aumento en el costo del proceso. Se tra- bajó de esta manera por no contar con los elementos necesaa- rios para el precalentamiento uniforme de los moldes y por lo costoso del equipo necesario para ello.

MODIFICACIONES AL MOLDE.- Con el modelo de la figura 13, la mayoría de las piezas salían rechazadas, pues las aristas su- periores del anillo salían redondeadas, había rechupes, unio- nes frías, porosidades y durezas muy altas, por lo que fue ne

cesario ir haciendo modificaciones en la sección de todas las partes del sistema de alimentación, las cuales tuvieron que ser aumentadas, con lo cual quedaron resueltos los problemas de dureza y de uniones frías.

También la dimensión de la mazarota se tuvo que aumentar, así como la del cuello que la une a la pieza, quedando el molde como el de la figura 15.

El rechazo total obtenido con el molde modificado ya incluyendo el que aparece después del maquinado fue el siguiente:

		% de rechazo
Piezas coladas	3,676	
" agrietadas	25	0.7
" duras	102	2.8
" con rechupes	114	3.1
" con poros de gas	327	8.9
" incompletas	167	4.5
		<hr/>
	TOTAL	20.0

Es importante mencionar que se coló una cantidad tan grande de piezas porque el cambio a piezas coladas en molde permanente ya había sido aprobado por el cliente.

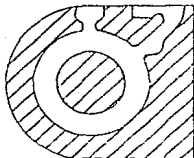


Fig. 15.- Molde permanente modificado.

4.3 CICLO DEL MOLDE: Un ciclo completo del molde comprende - los siguientes pasos:

- a) Recepción del metal líquido.
- b) Solidificación de la pieza.
- c) Apertura del molde y desmoldeo de la pieza.
- d) Enfriamiento del molde con aire comprimido.
- e) Revestimiento del molde con humo de acetileno y de ser necesario, también con una capa de refractario.
- f) Cierre del molde.

VELOCIDAD DE COLADO.- El ciclo se inicia con el llenado de los moldes, el cual debe ser en forma continua y a la mayor velocidad posible dirigiendo el chorro de metal a -- las paredes del tazón de alimentación para evitar turbu-- lencias. El tiempo en llenar el molde de la pieza con - que estamos experimentando debe ser de aproximadamente 5 segundos.

TIEMPO DE PERMANENCIA EN EL MOLDE.- Cuando los moldes han

alcanzado su temperatura de equilibrio, las piezas pueden ser desmoldadas cuando el carrusel ha girado 150° a partir de la estación de colado, posición en la cual el molde abre automáticamente para que pueda ser extraída la pieza; esto sucede aproximadamente 3 minutos después de que se coló y es el tiempo óptimo ya que la pieza se encuentra entre 800 y 900°C , temperatura a la cual ya la pieza ha solidificado completamente y al ser retirada del molde tendrá un enfriamiento menos severo en el aire, lo cual evitará la formación de carburos, además, no se sobrecalentará demasiado el molde con lo cual éste rendirá un mayor número de coladas. El mejor tiempo para el desmoldeo de la pieza está entre 3 y 4 minutos, si ésta permanece un tiempo mayor, las piezas se cierran sobre el macho metálico y no pueden ser extraídas, además de endurecerse y posiblemente salir agrietadas. La colada con que se está trabajando presentó problemas de extracción a pesar de los 8° de ángulo de salida que se dieron a su interior, dificultad que fue superada al adquirir experiencia el operador.

ENFRIAMIENTO DE LOS MOLDES.- A partir de la tercera pieza colada, los machos de los moldes se empiezan a notar muy calientes, es entonces necesario hacer funcionar el soplador de aire para evitar un sobrecalentamiento mayor de éstos. La corriente es de baja presión y alto gasto, está dirigida como para que pase el mayor volumen posible por las caras de trabajo del molde y que circule por el mayor número de moldes.

Con los diseños que se probó no fue posible lograr uniformidad en la temperatura del molde, en todos ellos el macho metálico trabajó a mayor temperatura, sin embargo aún con este problema pudieron ser obtenidas piezas perfectamente utilizables.

PREPARACION DEL MOLDE PARA LA SIGUIENTE COLADA.- Inmediatamente después de haber retirado la colada del molde, se soplean sus dos partes con aire comprimido a 5 Kgs. por centímetro cuadrado con el objeto de retirar partículas pegadas al recubrimiento como gotas metálicas o cáscaras de refractario que se pudieran haber desprendido. Se hace también en este punto una rápida inspección visual del revestimiento, y de ser necesario se aplicará más pintura a base de diatomita en las zonas que lo requieran, previa limpieza de la parte por recubrir.

Enseguida el molde abierto entra al túnel de enfriamiento y su paso por este es de aproximadamente 3 minutos, al salir del túnel el mismo molde actúa un microinterruptor que acciona una válvula solenoide para permitir el paso del acetileno al ahumador y revestir completamente con humo las caras de trabajo de los moldes. Después del ahumado el molde se cierra automáticamente mediante una leva que acciona la válvula de apertura y cierre completándose en este punto un ciclo del molde y de la máquina, quedando todo listo para la iniciación del siguiente.

Cuando se ha terminado el metal de la cuchara de colado, el tiempo en llenarla y prepararla nuevamente, el carrusel debe

permanecer girando con los moldes abiertos, el soplador de aire funcionando y el ahumador apagado para evitar el consumo excesivo de acetileno.

4.4 SELECCION DE PIEZAS:

Cuando las coladas se han enfriado hasta temperatura ambiente, se les determina dureza Brinell a una de las primeras piezas y a una de las últimas de cada cuchara de colado y si están dentro de especificaciones se inspeccionan visualmente una por una, las defectuosas se envían a los hornos después de contarlas y sacar una estadística de rechazos por defecto y las buenas son separadas de sus mazarotas y alimentaciones, se pasan a los esmeriles para darles un -- acabado de fundición, se cuentan y se envían al departamento de maquinados.

METALOGRAFIA.- En las siguientes fotomicrografías podemos observar la estructura típica de una pieza colada en molde permanente.

Fotomicrografías 300X

1) Zona interior gris

2) Zona exterior blanca

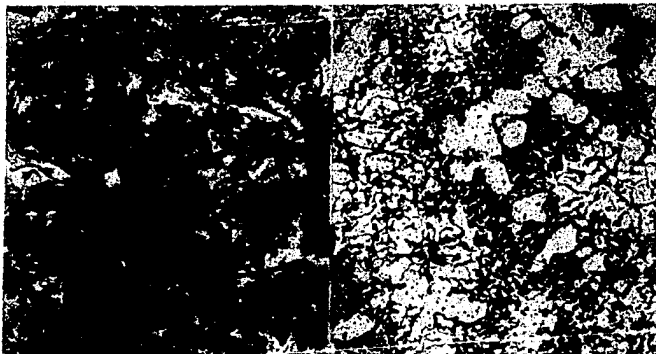


Fig. 1.- Estructura de un anillo colado en molde permanente. La muestra tomada para examen microscópico, presenta una zona interior gris y una zona periférica blanca, después de su ataque con nital. La zona blanca tiene una profundidad en las partes rectas de 0.6 a 1.0 mm., y la profundidad en las esquinas es de 4.5 mm. medida diagonalmente.

La microestructura en la parte interior gris es como sigue:

Grafito: Tipo A tamaño #4:30% - tipo B tamaño #4:50% - tipo D tamaño #7:20%.

MATRIZ: % Ferrita: 25 - % Perlita (laminar): 75 - Cementita y esteadita: 0 (fotomicro No. 1).

Dentro de esta microestructura hay manchas numerosas diferentes con la siguiente microestructura: Grafito tipo D, tamaño #8. Matriz de grano perlítico: 80% y ferrita intergranular: 20%.

Las zonas exteriores blancas tienen la microestructura siguiente:

Grafito fino, tipo D, tamaños # 7 y 8.- Perlita fina en forma de redes: 40% y ferrita dendrítica 60% que indica que se trata de un hierro gris enfriado rápidamente y descarburado. (fotomicro No.2).

Durezas Rockwell determinadas en briqueta para examen metalográfico:

Zona interior gris: varía de B92 a B94.

Zona periférica blanca: varía de B73 a B78.

4.5 ENSAYOS CON NUCLEOS.- Con la experiencia adquirida en el colado de anillos en molde permanente, se quiso colar también núcleos mediante este sistema, para lo cual se seleccionó el de Chrysler V8 por ser la pieza de la cual se requieren más unidades además de ser una de las de sección más gruesa por lo que su tendencia al blanqueo es menor. Se fabricaron machos de arena de shell en la sopladora de corazones, pues es prácticamente imposible obtener estas piezas siendo los corazones parte integral del molde. Se fabricó un molde para 2 piezas con el objeto de obtener mayor velocidad de producción porque esta pieza no tiene un peso tan grande, el molde se montó en un dispositivo de apertura y cierre manual y después de haber intentado colar unas 80 piezas y no obtener ninguna buena a pesar de haber hecho variaciones en la composición del metal, secciones de alimentación, espesor del revestimiento del molde, temperaturas del molde y del metal, etc., se llegó a la conclusión de que no era una pieza apropiada para este sistema de colado, pues en primer lugar su utilización implicaría la fabricación de los corazones de arena de "shell" que es bastante cara, la necesidad de tratamiento térmico y el porcentaje de rechazo podría ser muy alto resultando antieconómico.

Algunos de los problemas con que nos encontramos fueron; rechupes en algunas secciones, piezas fracturadas debido a la gran diferencia en la velocidad de enfriamiento entre la --

parte central de la pieza y la parte exterior, así como durezas desde 255 hasta 415 Brinell determinadas a una misma pieza. También nos encontramos con abundantes -- juntas frías y piezas incompletas debido a que el metal solidifica antes de llenar completamente la cavidad. - Por todo esto que mencionamos se desechó la idea de colar los núcleos mediante este sistema.

4.6 PROBLEMAS DE LA COLADA A MOLDES PERMANENTES:

Durante la experimentación con este sistema de colado surgieron gran cantidad de dificultades tanto con el carrusel como con los moldes y con las piezas obtenidas, a continuación se mencionan las más importantes así como sus posibles soluciones.

FUGAS DE METAL ENTRE LOS MOLDES.- Es el primer problema que se presenta si los planos de junta de los moldes no cierran perfectamente, esto puede ser ocasionado por desajuste de los moldes; corregir colocando arandelas entre el soporte vertical de los moldes y las bases de éstos hasta que al cerrarlos sus caras de junta sellen -- perfectamente. Otra posible causa de este problema es que los machos de los medios moldes se dilaten más que el resto del molde e impidan que los planos de junta de la periferia del molde hagan contacto. En el caso de -- nuestro diseño no fue posible que el macho y el resto del -- molde tuvieran la misma temperatura, éste trabajó más caliente; para

solucionar este problema se le rebajaron 0.2mm. a las caras de junta de los machos.

PIEZAS PEGADAS A LOS MOLDES.- Las causas pueden ser muy diversas, a continuación se ennumeran las principales:

- a) Insuficiente humo de acetileno en los moldes que puede ser ocasionado por insuficiente presión en el tanque, o porque el ahumador tenga algunos orificios tapados por lo que el revestimiento no será parejo. De ser necesario cambiar el cilindro de acetileno y destapar el ahumador.
- b) Moldes fríos que ocasionan una contracción muy rápida de la pieza, cerrándose ésta sobre el macho del molde. Si este es el caso, agregar exceso de humo de acetileno y desmoldear la colada lo antes posible.
- c) Moldes erosionados. Si la cavidad o grieta es pequeña, se puede rellenar con soldadura y emparejar con una punta de esmeril, pero si son grandes o hay varias se debe desechar ese molde. Si los moldes se erosionan demasiado rápido a pesar de estar siempre revestidos correctamente con su capa de refractario a base de diatomita y la de humo de acetileno, rediseñar el sistema de alimentación.

DESCASCARAMIENTO DE LA PINTURA.- Cuando el revestimiento aislante no se aplica en forma correcta, al momento de desmoldear la primera pieza colada se desprenden caras de refractario de diferentes partes, esto hace ne-

cesario limpiar esa zona del molde perfectamente y aplicar de inmediato más refractario, pero esto ocasiona que las zonas circundantes al descascaramiento engrosen y las piezas pueden quedar faltas de material para el maquinado, lo ideal es que este revestimiento dure varios días colando en forma ininterrumpida, se remueva completamente si está deteriorado y se aplique de manera uniforme antes de continuar colando; en la práctica se ha visto que si el refractario está bien aplicado sirve para varias semanas sin que se desprenda o erosione, donde existe mayor problema es en el sistema de alimentación, en el que sí es necesario aplicar refractario aislante por lo menos cada 5 piezas coladas porque en toda esta zona el refractario se erosiona sobre todo en el sitio donde cae el chorro de metal dejando expuestas las caras del molde, sin embargo esto no es un gran problema porque esta zona se puede revestir constantemente sin retrasar el ciclo del carrusel y no importa que dicho recubrimiento no tenga espesor uniforme puesto que estas partes quedan fuera de la pieza.

SOLIDIFICACION DE LA ALIMENTACION ANTES QUE EL MOLDE SE LLENE.- Suponiendo que el diseño de la alimentación es correcto, una de las causas es que la temperatura del metal que se está colando se encuentre muy cercana a la de solidificación; aumentarla un poco. También se presenta este problema si el molde se encuentra demasiado frío y el colado se hace muy lento; habría que tener los moldes a su temperatura de trabajo y colar a mayor velocidad.

METAL QUE EMPIEZA A SOLIDIFICAR EN LA CUCHARA DE COLADO.- Con alguna frecuencia el metal en la cuchara de colado empieza a solidificar debido a algún retraso en el ciclo del carrusel, - la causa más común es que alguna de las piezas no pueda ser extraída con la rapidez necesaria, otra posible causa sería la - falta de aire de enfriamiento en cantidad suficiente con lo -- que se elevaría la temperatura de los moldes y la colada tardría más tiempo en solidificar; en cuanto se note que el metal de la cuchara va a empezar a solidificar regresarlo al horno y corregir el problema antes de continuar colando.

MOLDES EROSIONADOS PREMATURAMENTE.- La longevidad de los moldes es un factor importantísimo en la economía de este sistema de colado lo cual hace indispensable minimizar en lo posible - las siguientes causas de dicha erosión:

- a) Mal diseño del sistema de alimentación; rediseñar tomando - en cuenta todos los factores mencionados.
- b) Metal que se está colando a temperatura muy elevada: disminuir la temperatura de colado a la mínima posible que nos - permita terminar de vaciar el metal de la cuchara, si no se resuelve de esta manera, disminuir el tamaño de la cuchara en tal forma que los Kgs. de metal que contenga sean los necesarios para uno o varios ciclos completos del carrusel.
- c) No se ha revestido con la frecuencia necesaria en las zonas de mayor erosión; revestir correctamente y con la frecuen--cia necesaria.

4.7 DEFECTOS DE LA COLADA Y POSIBLES SOLUCIONES:

GOTAS O JUNTAS FRIAS.- Son ocasionadas por baja temperatura del molde aunada a interrupciones del chorro de metal durante el colado, o a salpicaduras por una entrada turbulenta de metal al molde; calentar el molde hasta su temperatura de trabajo, colar ininterrumpidamente y a una velocidad apropiada.

PIEZAS INCOMPLETAS.- Hay varias causas que pueden originar este problema, una de ellas es que el metal que se es té colando, ya se encuentre muy cercano a la temperatura de solidificación y se tape la alimentación antes de llenar completamente la cavidad; si este es el caso regresar el metal de la cuchara al horno y colar posteriormente -- con metal a mayor temperatura. Otra causa proviene del desmoldeo prematuro de las piezas, pues si éstas han solidificado unicamente en la superficie, al caer la pieza po dría romperse la capa solidificada y expeler líquido; fijar bien el tiempo de desmoldeo, el cual deberá hacerse -- tan pronto como la pieza haya solidificado completamente. Este punto es perfectamente distinguible en forma visual, -- pues a esta temperatura el anillo es practicamente transparente y se nota al abrir el molde como va solidificando hacia el interior. Las piezas también pueden quedar faltas de material al desprenderles la mazarota, si esto sucede, proyectar los moldes con un cuello entre la pieza y la mazarota con una sección un poco menor.

POROSIDAD INTERNA.- Este es el mayor problema a que nos enfrentamos en el colado de anillos, pues por un lado el número de piezas rechazadas es muy elevado, y por otra parte las soluciones al problema no son nada sencillas. La descripción de estas porosidades corresponde al de las ocasionadas por gases que no se alcanzaron a liberar pues invariablemente se encuentran en la parte superior del anillo entre la mazarota y el cono de alimentación, dichas porosidades se pueden deber a los siguientes factores:

- a) La primer fuente de problemas podría ser un mal diseño del molde, pues si en este se provocan turbulencias al caer el metal, o si la solidificación no se efectúa en el sentido correcto, podrían quedar gases atrapados; rediseñar el sistema de alimentación.
- b) Alta temperatura de colado, a mayor temperatura la solubilidad de los gases en el hierro aumenta y si éstos al ser liberados durante el enfriamiento no alcanzan a salir quedan atrapados en el interior. Calentar el metal a la menor temperatura posible que nos permita colar todo el metal de la cuchara.
- c) Humedad en el revestimiento, se habló con anterioridad de las bondades de los revestimientos aislantes a base de diatomita y silicato de sodio, sin embargo, también tienen algunos inconvenientes y uno de ellos es su higroscopía, lo cual provoca que cuando no se utilizan -

los moldes dicho revestimiento se humedezca y al colar las primeras piezas parte de esta humedad desprendida quede como burbujas de aire en la pieza; este problema se puede evitar secando el revestimiento antes de colar.

- d) Alta temperatura del molde, está plenamente comprobado que si se sobrecalienta el molde por alguna causa como insuficiente caudal del aire de enfriamiento o dirección inadecuada de éste, las piezas salen porosas; mantener los moldes a una temperatura adecuada.

ARISTAS REDONDEADAS.- Con el diseño inicial las aristas de la parte superior del anillo salían todas redondas; para eliminar este defecto hubo necesidad de rediseñar la alimentación, aumentar el tamaño de la mazarota y también el diámetro del cuello que une a ésta con la pieza hasta que casi tenía la misma dimensión que el ancho de la pieza.

ARISTAS Y CAPAS SUPERFICIALES DURAS.- Las causas de esta dureza son:

- a) Metal con bajo carbono o bajo silicio; mantener un control más estricto sobre la composición del metal.
- b) Tiempo grande de permanencia del metal en el horno; esto puede ser ocasionado por algún retraso en la operación del carrusel, como nunca se trabaja con el horno muy lleno, se le puede adicionar más carga cuando ya sea posible continuar colando.
- c) Mala inoculación; inocular correctamente con un inoculante a base de Fe-Si o de Fe-Si y Ca-Si porque los de base gra-

- fito dan problemas debido a la baja temperatura de colado.
- d) Moldes fríos o sin revestimiento; calentar los moldes a su temperatura de trabajo y revisar el revestimiento con mayor frecuencia para conservarlo en condiciones óptimas.
 - e) Piezas que no se extraen del molde con la suficiente rapidez; una de las razones puede ser insuficiente ángulo de de salida, y otra la erosión de los moldes causada por el propio metal; dar mayor ángulo de alivio, y si la erosión es grande desechar el molde.

PIEZAS AGRIETADAS.- Su origen reside en el enfriamiento no uniforme de la colada; si el porcentaje de piezas con este defecto es considerable habrá que intentar con un nuevo diseño.

RECHUPES.- Se presentan de una manera muy característica --- pues se nota la cavidad pero rellena de metal, solo que no está bien unida al resto de la pieza, es una especie de lengüeta formada sobre el rechupe cuando viene la expansión debida a la precipitación del grafito, pero que debido a la rápida solidificación ya no queda perfectamente integrada al resto de la pieza; la forma de eliminar estos rechupes es aumentando el volumen de la mazarota, porque de lo contrario, aunque éstos queden rellenos como hay falsa unión fría la pieza no sirve.

FLOTACION DE GRAFITO EN LA PIEZA.- Se presenta si los contenidos de carbono y silicio son muy altos para el tamaño de sección; bajar el contenido de estos elementos en tal forma -

que ya no se presente este problema, pero teniendo cuidado de no bajarlos demasiado porque la picza queda muy susceptible al endurecimiento.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CAPITULO V

BALANCE ECONOMICO DE AMBOS SISTEMAS DE MOLDEO

- 5.1 Análisis del costo de producción de 1,000 piezas coladas a
moldes de arena.
 - 5.1.1 Costo de la materia prima para los moldes.
 - 5.1.2 Costo de la energía eléctrica para fundir el metal.
 - 5.1.3 Costo de las materias primas para preparar el metal.
 - 5.1.4 Costo de refractarios para el horno y cucharas de -
colado.
 - 5.1.5 Costo de mano de obra.
 - 5.1.6 Costo de energía eléctrica en el resto del equipo -
requerido para este sistema de moldeo.
- 5.2 Análisis del costo de producción de 1,000 piezas coladas
a moldes permanentes.
 - 5.2.1 Costo de los moldes y materiales para su revesti---
miento.
 - 5.2.2 Costo de la energía eléctrica para fundir el metal.
 - 5.2.3 Costo de materias primas para preparar el metal.
 - 5.2.4 Costo de refractarios para el horno y cucharas de -
colado.
 - 5.2.5 Costo de mano de obra.
 - 5.2.6 Costo de la energía eléctrica en el carrusel, sopla
dor y esmeriles.
 - 5.2.7 Costo del humo de acetileno.
- 5.3 Tabla comparativa de costos.

5.1 ANALISIS DEL COSTO DE PRODUCCION DE 1,000 PIEZAS COLADAS A MOLDES DE ARENA EN VERDE.

- 5.1.1 COSTO DE LA MATERIA PRIMA PARA LOS MOLDES.- De cada molde se obtiene una pieza, y se requieren 75 Kgs. de arena preparada para la elaboración de cada uno de ellos. El molino tiene capacidad para preparar 400 Kgs. de arena en 4 minutos mezclando los siguientes aditivos:

	Kgs.	Precio Unitario	Costo
arena recuperada	380	2.55	969.00
arena nueva	15	73.10	1,096.50
bentonita sódica	1.4	215.00	301.00
bentonita cálcica	1.5	190.00	285.00
carbón marino	0.7	283.00	198.10
mogul	0.4	1789.00	715.60
carbonato de sodio	0.08	683.00	54.64
	<u>399.08</u>		<u>3,619.84</u>

$$\$3,619.84 \times \frac{75}{399} = \$680.42 \text{ (costo de materia prima para fabricar un molde.)}$$

Teóricamente se requieren 1,000 moldes, pero aproximadamente 5% de ellos salen defectuosos y hay que desecharlos, -- por lo que es necesario que se moldeen 1050.

$$1,050 \times \$680.42 = \$714,441 \text{ (costo de la materia prima para los moldes.)}$$

5.1.2 COSTO DE LA ENERGIA ELECTRICA PARA FUNDIR EL METAL.- Es de \$98.40 por Kilogramo de metal fundido listo para ser colado.

Cada pieza con acabado de fundición tiene un peso promedio de 6,000 Kgs. y su mazarota de 2.1 Kgs. por lo que el costo de fusión es el siguiente:

$$1,000 \text{ pzas.} \times 8.1 \text{ Kgs.} \times \$98.40 \times 1.16 = \$924,566$$

5.1.3 COSTO DE LAS MATERIAS PRIMAS PARA LA PREPARACION DEL ME

TAL.	Kgs.	recuperación	Kgs.	precio/Kg.	costo
Chatarra	100.00	98%	98	320.0	32,000
Fe-Si 75%	2.95	95%	2.1	2,709.6	7,993
Grafito	5.91	55%	3.2	293.7	1,736
Fe-Mn 74%	1.02	99%	0.7	707.8	722
			104.0		42,451

42,451 = \$408.18 (costo de las materias primas para la preparación de 1 Kg. de metal.)

Como el rechazo de piezas coladas a moldes de arena es de 16%:

1,000 pzas. \times 1.16 \times 6.00 Kgs. \times \$408.18 = \$2,840,933 pero del 16% de las piezas rechazadas se recupera un 90% del -- costo al fundirlas nuevamente:

$$1,000 \times 0.16 \times 6.00 \text{ Kgs.} \times \$408.18 \times 90\% = \$352,668$$

La mazarota con todo el sistema de alimentación pesa 2.1 Kgs.:

$$1,000 \times 1.16 \times 2.1 \text{ Kgs.} \times \$408.18 = \$994,326$$

Este sería el costo del metal preparado consumido en mazarotas, pero de éstas se recupera el 90% al fundirlas nuevamente, por lo que el costo del metal para las mazarotas -

es de \$99,432 unicamente.

$2,840,933 - 352,668 + 99,432 = 2,587,697$ (costo del metal)..

5.1.4 COSTO DE REFRACTARIOS PARA EL HORNO Y CUCHARAS DE COLADO.-

Es de \$12.48/Kg. de hierro fundido:

$1,000 \times 1.16 \times 8.1 \text{ Kgs.} \times \$12.48 = \$117,262$

5.1.5 COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA:

Posición	Salario/hr.	horas	costo
molinero	1,443.50	18	25,983
moldeador	1,593.75	18	28,687
colocador de pesas I	995.50	18	17,919
colocador de pesas II	995.50	18	17,919
vaciador I	995.50	18	17,919
vaciador II	995.50	18	17,919
desmoldeador	995.50	18	17,919
limpieza de piezas	995.50	18	17,919
esmerilador	833.75	18	15,007
hornero	1,643.75	18	29,587
			<u>\$ 206,778</u>

En la tabla anterior se tomaron como base 18 hs. de trabajo que es el tiempo necesario para producir 1000 piezas.

5.1.6 COSTO DE LA ENERGIA ELECTRICA PARA EL RESTO DEL EQUIPO DEL SISTEMA DE MOLDEO EN ARENA.- En función del caballaje de los motores y el tiempo que trabajan se determinó que este costo es de aproximadamente \$221,400.

5.2 ANALISIS DEL COSTO DE PRODUCCION DE 1,000 PIEZAS COLADAS A MOLDES PERMANENTES.

5.2.1 COSTO DE LOS MOLDES Y MATERIALES PARA SU REVESTIMIENTO.

En un solo molde permanente se han llegado a colar alrededor de 1,000 piezas y aún se encuentra en condiciones aceptables, por lo que podemos suponer que puede producir unas 1,500 piezas por lo menos. El costo de cada molde permanente es de \$200,000 incluyendo el costo del revestimiento inicial y montaje al carrusel.

$\frac{\$200,000}{1,500} = 133.33$ pesos es el costo de molde por pieza

colada.

$133.33 \times 1,000 = 133,330$ es el costo de moldes para colar 1,000 piezas.

Se requieren 90 litros de suspensión de refractario preparada a base de diatomita para revestir los moldes inicialmente e ir haciendo los revestimientos necesarios de algunas partes a medida que se van erosionando durante el colado. Los materiales necesarios para preparar estos 90 litros son los siguientes:

Silicato de Sodio	15 Kgs. X \$1,000 = \$15,000
Diatomita	10 Kgs. X \$1,137 = \$11,370
Agua	80 Lts. X --- = ---
	TOTAL <u>\$26,370</u>

5.2.2 COSTO DE LA ENERGIA ELECTRICA PARA FUNDIR EL METAL.-

Se estima que el consumo de energía para llevar el metal hasta la temperatura de colado es menor 8% con respecto a la necesaria para llegar a la temperatura de colado -- en arena, puesto que a moldes permanentes se cuela a temperatura más baja, por lo que el costo es de \$90.53 por kilogramo de metal fundido listo para el colado.

Cada pieza con acabado de fundición tiene un peso de --- 6.075 Kgs. y su mazarota incluyendo el tazón de colada y la alimentación pesa 1.200 Kgs., por lo que el peso total de la colada es de 7,275 Kgs.

$1,000 \times 1.20 \times 7.275 \times \$90.53 = \$790,327$ (costo de fundición ya incluido el de las piezas que se rechazan).

5.2.3 COSTO DE LAS MATERIAS PRIMAS PARA PREPARAR EL METAL:

	Kgs.	recuperación	Kgs.	precio/Kg.	costo
Chatarra	100.00	98%	98.0	320.0	32,000
Fe-Si 75%	3.37	95%	2.4	2,709.6	9,131
Grafito	6.18	55%	3.4	293.7	1,815
Fe-Mn 74%	1.09	99%	0.8	707.8	772
			<u>104.6</u>		<u>43,718</u>

43,718 = \$417.95 (costo de la materia prima para preparar 104.6 1 Kg. de metal).

$1,000 \text{ pzas.} \times 6.075 \text{ Kgs.} \times \$417.95 \times 1.20 = \$3,046,855$ incluyendo el costo del 20% de las piezas rechazadas.

Pero del 20% de las piezas rechazadas se recupera aproximadamente el 90% al fundirlas nuevamente:

$1,000 \times 0.2 \times 6.075 \text{ Kgs.} \times \$417.95 \times 90\% = \$457,028.$

Como la mazarota junto con todo el sistema de alimentación tienen un peso de 1.200 Kgs.:

$1,000 \times 1.2 \text{ Kgs.} \times 1.2 \text{ rechazo} \times \$417.95 = \$601,848$

Este sería el costo del metal consumido en mazarotas, pero como se recupera el 90% al fundirlas nuevamente, el costo es de únicamente \$60,184

$3,046,855 - 457,028 + 60,184 = \$2,650,011$ (costo del metal)

5.2.4 COSTO DE REFRACTARIOS PARA EL HORNO Y CUCHARAS DE COLADO.-

Como la temperatura de colado es menor, se estima que el costo de refractarios es aproximadamente 10% inferior que el que se tiene para el colado en arena, o sea que colando a moldes permanentes el costo de refractarios sería de ---- \$11,232 esto es:

$1,000 \text{ pzas.} \times 7.275 \text{ Kgs.} \times 11.232 \times 1.2 = \$98,055$

5.2.5 COSTO DE MANO DE OBRA:

Posición	Salario/hr.	Horas	costo
vaciador I	995.50	18	17,919
vaciador II (desmoldea)	995.50	18	17,919
ayudante (pintar moldes y retirar piezas)	833.75	18	15,007
selección de piezas y quebrar coladas.	995.50	18	17,919
esmerilador I	833.75	18	15,007
esmerilador II	833.75	18	15,007
hornero	1,643.75	18	29,587
			<u>\$128,365</u>

También en este caso se tomaron como base 18 hs. de trabajo por ser el tiempo necesario para el colado de las 1,000 piezas buenas.

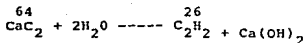
5.2.6 COSTO DE LA ENERGIA ELECTRICA EN EL EQUIPO DE COLADO EN MOLDES PERMANENTES Y ESMERILES.- En función del cableaje de los motores y el tiempo que trabajan se determinó que este costo es de \$49,811

5.2.7 COSTO DEL HUMO DE ACETILENO PARA REVESTIR LOS MOLDES.-

El costo de 1 Kg. de acetileno es de \$16,481 y con éste se pueden revestir 30 moldes, pero como hay 20% de rechazo, es necesario revestir 1,200 moldes, por lo que se requieren 40 Kgs. de acetileno.

$$40 \text{ Kgs.} \times \$16,481 = \$659,240$$

El costo anterior es considerando el precio del acetileno embotellado, el cual tiene una pureza mucho más alta de la que se requiere, pero es posible obtenerlo en un generador a partir de carburo de calcio y agua con lo cual el costo estimado sería el siguiente:



De la reacción anterior se puede observar que con 64 Kgs. de carburo de calcio se pueden obtener 26 Kgs. de acetileno, y que por lo tanto para obtener 40 Kgs. de acetileno, serán necesarios 98.5 Kgs. de carburo. Suponiendo un 70% de eficiencia en esta reacción:

$98.5 \times 1.3 = 128$ Kgs. de CaC_2 se necesitan.

$128 \text{ Kgs.} \times \$1,841.10 = \$235,661$

El ahorro que se obtendrá sería el siguiente:

$\$659,240 - \$235,661 = \$423,579$

Es importante mencionar que casi no se requiere inversión en este equipo pues ya se cuenta con uno de fabricación doméstica que inclusive ya se ha utilizado con algún éxito, pero que aún le faltan algunos detalles para que funcione con eficiencia.

Todos los costos a que nos referimos en esta capítulo corresponden al mes de Julio de 1988 en el que la paridad era de 2,330 pesos por un dólar del tipo libre.

5.3 TABLA COMPARATIVA DE COSTOS.

	moldes de arena	moldes permanentes
Materia prima moldes	714,441	133,330
revestimiento moldes	---	26,370
humo de acetileno	---	659,240
energía eléctrica para fundir el metal	924,566	790,327
refractarios	117,262	98,055
mano de obra	206,778	128,365
energía eléctrica para el resto de los equipos	221,400	49,811
Materia prima para preparar el metal	<u>\$2,587,697</u>	<u>\$2,650,011</u>
	\$4,772,144	\$4,535,509
<u>4,535,509</u>		
4,772,144 = 95.0 %		

- 1.- De la tabla anterior se ve que produciendo piezas en moldes permanentes hay un ahorro del 5% sin considerar el costo del mantenimiento de todos los equipos del sistema de arena que indudablemente es mucho mayor al del mantenimiento del carrusel.
- 2.- Obteniendo el humo de acetileno en un generador propio tendríamos un ahorro adicional de \$423,579 que equivaldría al 8.9%, el cual sumado al anterior 5% nos da un ahorro total de 13.9% en los conceptos con siderados en la tabla.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- 1.- Se pueden obtener anillos colados en moldes permanentes completamente maquinables sin necesidad de tratamiento térmico.
- 2.- El colado de piezas a moldes permanentes es más económico que a moldes de arena.
- 3.- El tiempo de maquinado de las piezas obtenidas en molde permanente es 20% menor debido a la baja dureza.
- 4.- Si para el anillo de camión el estudio resultó favorable, también podría serlo para la mayoría o para todos los demás anillos, pues en total son 7 diferentes tipos los que se fabrican.
- 5.- El rechazo es mayor en los moldes permanentes pero no hay que olvidar que es un procedimiento nuevo del cual hay mucho que aprender y probablemente con más experiencia éste pueda ser reducido en forma considerable.
- 6.- No es posible eliminar el moldeo en arena debido a la necesidad de colar los núcleos, lo más conveniente es trabajar con los dos sistemas y fundir en un horno metálico para los moldes de arena y en el otro para los moldes permanentes, con lo cual es posible satisfacer completamente la demanda de los clientes.

B I B L I O G R A F I A

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Agenda de Fundición 1970, publicada por Editora y Distribuidora de Publicaciones Técnicas. Madrid, España 1970.
- 2.- A quick picture of the Eaton permanent mold process for producing gray iron castings. Technical report. Eaton manufacturing Company. Vassar Michigan.
- 3.- Cast Metals Handbook. 4th Edition 1957. American Foundrymen's Society. Illinois.
- 4.- The section sensitivity of cast iron permanent mold casting. Cast Metals research journal. June 1972, vol. 8. American Foundrymen's Society.
- 5.- Fisher T. P. The Technology of gravity die casting. From Technologie de la fonderie en moules métalliques. Translated from the French by B. Harocopos. Hart Publishing Company Inc. New York 1968.
- 6.- Frye N. George. Permanent mold process as applied to -- production of gray iron castings. Eaton Foundry Division. Vassar Mich. 1968.
- 7.- González Vargas F. Microestructura y propiedades de los hierros colados, Hierro y acero, revista de la Sociedad Metalúrgica Mexicana.
- 8.- Isotani M., Kondo Y. y Hobo K. propiedades térmicas de recubrimientos a moldes metálicos para hierros colados. Reporte presentado en el 35 Congreso Internacional Kioto, - Japón.

- 9.- Permanent mold casting machines. The Centrifugal Casting Machine Co. Bulletin 265. Tulsa Oklahoma.
- 10.- Moore H William. Metallurgical instructions. Paper Nr. 81, 1962. Meehanite Metal Corporation.
- 11.- Rowady P. Edward. Heat treatment of Eaton permanent mold iron. Eaton Engineering Forum May 1961. Eaton Manufacturing Company. Cleveland, Ohio.
- 12.- S A E handbook part I. Society of Automotive Engineers - Inc. Worrendale 1975.
- 13.- The Cupola and its operation. Third edition 1965. The -- American Foundrymen's Society.
- 14.- Transactions of the American Foundrymen's Society. Vol. - 81, 1973.
- 15.- Walton F. Charles. The gray iron castings handbook. Copy right 1957 by the Gray Iron Founders Society Inc. Cleve-- land, Ohio.
- 16.- Wilde R. A. Machinability of Eaton permanent mold gray -- iron castings. Eaton Manufacturing Company. Cleveland, Ohio.
- 17.- Forging and Casting. Vol. 5, 8th edition. Metals Hand-- book American Society for Metals 1974.
- 18.- Transactions of the American Foundrymen's Society Vol. 77, 1969.