

# FUNDICION ACERADA

PARA

# BOMBAS DE MORTERO

TESIS

QUE PRESENTA EL ALUMNO

Alberto Cervantes Beltrán

PARA SU EXAMEN PROFESIONAL

DE

ENSAYADOR METALURGISTA

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

U. N. A. M.

MEXICO, D. F.  
MCMXLV



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



A la memoria de mi padre  
Sr. BERNARDINO CERVANTES

A mi querida y abnegada madre:  
Sra. ZENAIDA BELTRAN VDA. DE CERVANTES.  
con todo mi cariño, respeto y eterna  
gratitud por sus desvelos y enormes  
sacrificios.

A mis tíos y primos.



Al Sr. Dr. GUSTAVO BAZ

muy sinceramente, con mi más alta  
gratitud y respeto por su valiosa  
ayuda en todos mis estudios.



Al C. General de Brigada

SALVADOR S. SANCHEZ

Jefe del Estado Mayor Presidencial,  
con mis respetos y agradecimiento  
sincero



A MIS MAESTROS,  
con todo mi agradecimiento  
por sus sabios consejos y  
enseñanzas.

AL HONORABLE JURADO  
con mis respetos.

Al Sr. Tte. Cor. Ing. Ind.  
ALEJANDRO A. CISNEROS,  
muy sinceramente, por  
su valiosa ayuda en  
este trabajo.



Al maestro, Sr. Ing. Químico  
FERNANDO GONZALEZ VARGAS  
por su ayuda en este trabajo.

A mi tía,  
la Sra. LORENZA LIRA VDA. DE SALAS,  
con mi respeto y agradecimiento.



A la Señorita  
DORA AVILA VERDUZCO,  
sinceramente .



A MI NOVIA.

A mis compañeros y amigos  
de estudio y trabajo.



INSTITUTO DE BIOLOGIA  
BIBLIOTECA

LIBROS DE CONSULTA.

Principles of Iron Foundry — Moldenke.  
Foundry Sand Testing & Control Equipment,  
Harry W. Dietert Co.

Technical Analysis of  
STEEL and  
STEEL WORKS MATERIALS  
By  
Frank T. Sisco



## PRIMERA PARTE.

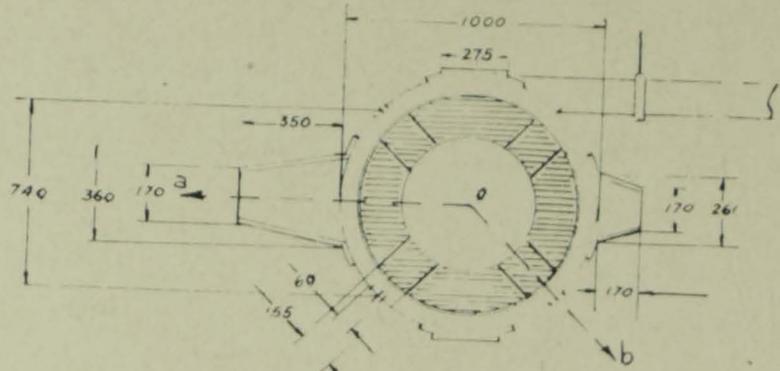
### CAPITULO I

#### INTRODUCCION

Este sencillo trabajo tiene por objeto presentar una tesis para mi exámen profesional, y también cooperar al estudio de la no muy generalizada fundición que mucho servicio puede prestar en los tiempos actuales, por la enorme escasez de acero y por la falta de hornos.

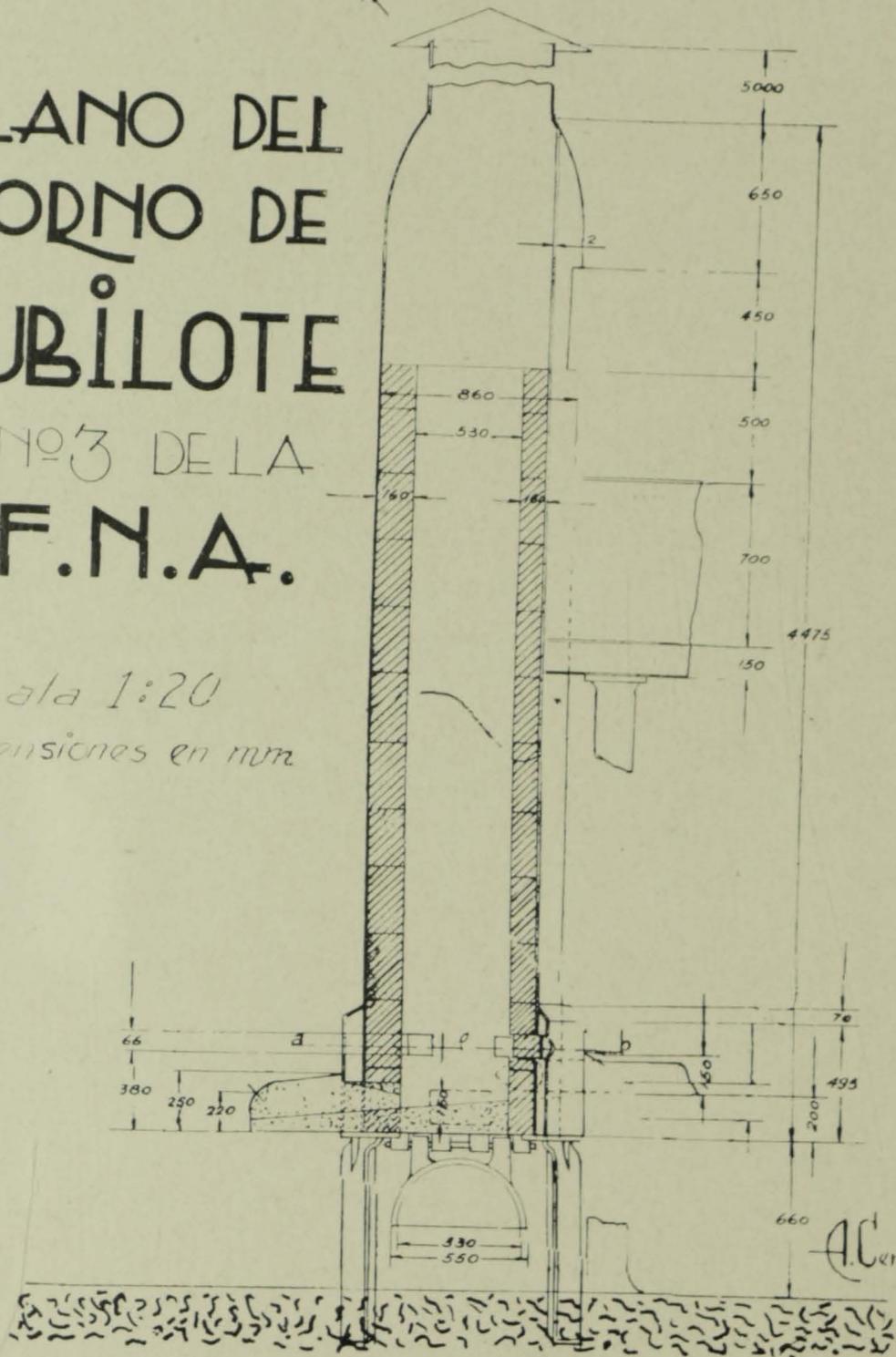
Dada esta dificultad, resulta muy económica y cómoda desde el punto de vista de trabajo.

Esta fundición, aún no muy conocida en nuestro medio, pero que muy pronto habrá de alcanzar un gran desarrollo por tener propiedades muy semejantes a las del acero (ésto en cuanto a resistencia mecánica), y superiores a las del hierro colado común.



PLANO DEL  
HORNNO DE  
CUBILOTE  
Nº 3 DE LA  
F.N.A.

*Escala 1:20*  
*Dimensiones en mm*



## CAPITULO II

### DESCRIPCION DEL HORNO DE CUBILOTE

Esta clase de horno es una simple forma de horno de tiro; su construcción es sencilla y económica.

Para su descripción, puede dividirse en tres zonas:

- 1.—Zona de almacenamiento de las cargas.
- 2.—Zona de fusión del horno.
- 3.—Zona del piso o crisol del horno.

Estas tres zonas se encuentran en un cilindro vertical de placas de caldera, revestido interiormente con ladrillos refractarios.

La parte superior, perteneciente a la primera zona, está abierta para recibir cargas alternadas de combustible y metal, con un soplo que es introducido en la segunda zona por medio de una caja de viento y unas toberas, donde se va fundiendo el metal que va escurriendo hacia abajo, hasta la tercera zona.

Hierro de primera clase puede ser obtenido con buena economía, fundiéndolo en un cilindro de caldera con la parte superior abierta y revestido con arcilla refractaria. A distancia apropiada del fondo, se practican aberturas que permiten la introducción de tubos, los que actúan como toberas. Una abertura en la parte más baja del cilindro permite colar el hierro fundido.

Tales aparatos, cuando son operados con perfecto conocimiento

to de los problemas de fundición, rendirán metal tan igualmente bueno como el de un horno construido exprofeso. Este será más dificultoso, sin embargo, operando en marcha regular.

Cuando alguien observa cubilotes operando día tras día en algunas fundiciones, es posible darse cuenta de, qué buenas fundiciones se obtienen en ellos, no importa el estado decrepito de los aparatos de fundición, sino su buena conducción.

El aire introducido es para quemar el carbón, y éste dá el calor suficiente para justamente fundir como el mejor cubilote construido.

En el plano se muestra la sección vertical y horizontal de un cubilote.

El cilindro vertical consiste en placas de acero remachadas, con anillos de hierro ángulo cuyos remaches se encuentran a intervalos para soportar el revestimiento refractario interior.

Generalmente hay una puerta, y a veces varias, a una altura que varía de 4 a 8 metros, según la capacidad del horno, arriba de la placa de la base por donde se introducen las cargas de combustible y metal.

Cerca del extremo inferior está provisto de una cámara anular que lo circunda, dentro de la cual entra el aire para repartirse uniformemente en las toberas de insuflación.

Las toberas están ordenadas en círculo, atravesando el revestimiento refractario a intervalos regulares.

El funcionamiento de las toberas puede ser observado a través de los atisbaderos o ventanillas, que pueden abrirse a voluntad para introducir barretas que limpien la escoria que obstruya la entrada de aire, y también sirven para remover las cargas.

Estas ventanillas están provistas de una capa de mica clara para poder ver a través de ellas, y se encuentran frente a las toberas y alrededor y en la parte exterior de la caja de viento.

Justamente debajo de las toberas y directamente atrás de la canal de colada (que forma el frente del cubilote), está practicada la canal para escoriado, por donde se descarga la escoria que se acumula sobre el metal fundido durante el proceso de fusión, cuando esta se prolonga por mucho tiempo.

La canal de colada misma (parte frente del horno), está practicada en el punto más bajo coincidiendo con el piso inclinado del fondo del cilindro, en cuyo lugar se deja una abertura en la envuelta, la cual es revestida con una mezcla apisonada de barro y arena.

El fondo del horno (piso), es revestido en la misma forma que la canal para contener el hierro fundido hasta que es extraído por la canal de colada.

La ilustración muestra el piso de arena listo para recibir la carga. Este está cerrado por la parte de abajo con dos puertas oscilantes, suspendidas a la placa de la base que soporta toda la estructura del cubilote. Las puertas están cerradas arriba y sostenidas por un tentemozo.

El cubilote todo, reposa sobre un juego de columnas de hierro asentadas en cimientos de concreto que se profundizan de 50 a 100 cm. debajo de la línea del piso, con objeto tanto de proteger del calor a la mampostería del cimiento en el momento de tumbar los residuos incandescentes después de una operación, como para servir en cierto modo de anclaje del aparato.

Para facilitar el aprovisionamiento de las cargas que se han de introducir al cubilote por la puerta de carga, se almacenan en una plataforma (plataforma de carga), construída de lámina gruesa de hierro o de placas de hierro colado, o todavía aún de concreto, lo suficientemente amplia para dar cabida a todos los materiales que se emplearán en un día de trabajo.

Continuando con la descripción del horno, diremos que éste se prolonga hacia arriba con una chimenea de menor diámetro que el cubilote, para hacer tiro a los gases, producto de la combustión.

El horno está forrado interiormente con un revestimiento de material refractario, formado con piezas de arcilla refractaria cuya forma convenga al diámetro del cubilote; pudiendo ser cuñas de canto, cuñas de punta y aún ladrillos standard. Este material se coloca desde el piso del crisol hasta la puerta de carga, esencialmente, pudiendo continuarse más arriba hasta donde se quiera, siguiendo hacia el tiro; además, el horno está provisto de un ventilador centrífugo que inyecta el aire a baja presión.

El aire que viene del ventilador, corre por un tubo a la caja de viento y circula alrededor, introduciéndose por la toberas a una presión superior a la atmosférica. Esta presión se mide generalmente en centímetros de columna de agua, sabiendo que para los cálculos ordinarios, una atmósfera equivale a 10 m. de columna de agua.

## CAPITULO III

### a) LO QUE ES LA FUNDICION ACERADA

Esta fundición se emplea en piezas de alta resistencia, porque ésta característica, siendo exclusiva del acero, se obtendría a un costo elevado con dicho material; en cambio la fundición acerada, cuya resistencia mecánica a la tracción se acerca a la del acero, su obtención es muy económica en el proceso del cubilote, aunque sin las demás propiedades del acero; es decir, que no puede ser templada, ni es dúctil ni maleable a ninguna temperatura y sí puede ser maquinada.

La denominación de fundición acerada es impropia, pues en esta forma indica un producto intermedio o de transición entre el acero y una fundición de hierro colado común; cosa que no es así, sino que es una fundición de ALTA RESISTENCIA MECANICA, cuyo nombre sí sería el apropiado. Una explicación más concreta sobre esto sería la siguiente: aún en el caso de que se empleara solamente pedacería de acero para obtener el producto, éste no tendría las propiedades del acero, porque al reaccionar dentro del cubilote en presencia del carbón se transformaría en hierro colado. Esta es la razón por la cual dicho producto no es de transición o intermedio entre el acero y el hierro colado común.

### b) CARACTERISTICAS QUIMICAS Y METALOGRAFICOS

Por otra parte, esta fundición de alta resistencia mecánica tiene características químicas precisas, que distan mucho tanto

de las del acero como de las del hierro colado común, como puede verse por análisis que se dan a continuación:

	Mínimo.	Máximo.
Carbono libre (grafito) .....	2.40%	2.50%
Id. combinando como $Fe_3C$ ...	0.65%	0.75%
Id. total .....	3.00%	3.25%
Silicio .....	1.60%	2.00%
Fósforo .....		0.085%
Manganeso .....	0.60%	0.85%
Azufre .....		0.08%

A cuyas características debe sujetarse el fundidor. Ahora bien, en una fundición de hierro colado común (gris o blanca), el análisis acusa lo siguiente:

Carbono total .....	2.80%	4.00%
Silicio .....	1.50%	2.50%
Fósforo .....	0.30%	0.60%
Manganeso .....	0.55%	1.30%
Azufre .....	0.08%	0.23%

Como se ve, existe diferencia entre una fundición de hierro colado común, (gris o blanca) y una fundición acerada, pues en esta última las proporciones son marcadamente estrictas y en la primera son variables, originando diferentes resistencias mecánicas.

Ahora bien, una vez obtenido el material con las características deseadas, lo cual se logra por medio de ensayos de fundiciones, análisis químicos y metalográficos para ver su estructura cristalina y resistencia, se procede a cargar el horno, fundir las cargas y vaciar las piezas, que en nuestro caso son las bombas de mortero.

En cuanto a las características fisicomecánicas que deberán dar, según cálculos obtenidos de las especificaciones anteriores, son las siguientes:

Pruebas de resistencia:

- 1) A la tracción.
- 2) A la penetración.

La prueba de resistencia a la tracción debe dar un mínimo, de 25 kg/mm<sup>2</sup> de sección.

La prueba a la penetración, o sea la dureza del material, debe dar un mínimo de 90 y un máximo de 105, escala B del Rockwell.

## CAPITULO IV

### a) USO DEL HORNO DE CUBILOTE EN LA FABRICACION DE FUNDICION ACERADA

Teniendo en cuenta las medidas del horno de cubilote, se procede a calcular su carga general. Esta se forma de una sección que sirve como lecho de fusión, alcanzando hasta un nivel arriba de las toberas; de allí para arriba, hasta la puerta de carga, es la sección que contiene la carga propiamente dicha. El lecho de fusión, constituido por carbón solamente, debe permanecer a una altura constante. Esta constante puede ser variada según que el hierro fundido se desee que salga a mayor temperatura, aumentando ésta con la altura de la cama hasta un límite más allá del cual la relación  $\text{CO}_2$  en  $\text{CO}$  deja de ser correcta. Generalmente al altura puede ser entre 50 y 80 cms. a partir de las toberas y una vez determinada debe permanecer constante.

En el caso de la fundición acerada, la cama debe ser alta porque el metal debe colarse a temperatura más elevada que el fierro ordinario, para que llene bien los moldes, sobre todo en piezas delgadas donde no es muy acentuado el rechupe en el tiempo de solidificación. En el caso particular de la fundición acerada, las cargas se preparan con hierro colado y acero en pedacería, obteniendo una mezcla que al fundir de un producto homogéneo de las características pedidas. El acero, teniendo un punto de fusión más elevado que el del hierro colado dada su menor proporción de carbono, necesita mayor cantidad de calor para su fusión, y como además absorbe carbono para nivelarse con el hierro colado, todo ésto aumenta el consumo de combustible. Este exceso tendrá

dos funciones: 1a., que el acero absorba carbono y con esto disminuya su punto de fusión; 2a., que se funda más fácilmente mezclándose en el hierro colado de la carga, para hacer una fusión uniforme al mismo tiempo que la temperatura de vaciado es mayor.

Una vez obtenida la altura de la cama, se procede a calcular en términos generales las cargas alternadas de hierro, combustible, ferroaleaciones y fundente.

Una manera práctica de calcular la cantidad de carbón que debe usarse, consiste en hacer un círculo de ladrillos sobre el suelo, con el diámetro de las dimensiones del cubilote que se vaya a emplear y con una altura de 10 a 15 cms. Se llena con coque seco en trozos de 10 a 15 cms. y se pesa esta cantidad. La carga de hierro podrá ser cerca de diez veces el peso de la carga de coque.

Para la fundición acerada, como se dijo anteriormente, por contener acero en las cargas de metal se necesita aumentar el porcentaje de carbono para que sea absorbido por el acero; este aumento es generalmente de un 4% cuando se tiene un buen coque, pero si el porcentaje de cenizas e impurezas es alto, con lo que disminuye el porcentaje de carbono, entonces puede variar el aumento entre 8 a 15%. Ahora bien, los cálculos obtenidos de la práctica fueron los siguientes: se procedió a formar un círculo de ladrillos con un diámetro de 53 cms., llenándolo con carbón en trozos de 12 a 15 cms., hasta una altura de 15 cms., dando un peso de 12 kgs. Según la práctica, el porcentaje de metal que debe ponerse es de 10 veces el peso del coque; por lo tanto, para 12 kgs. de coque se necesitan 120 kg. de hierro más un 10% de carbón con respecto al hierro, que es de 15 kgs. porque el coque empleado era de bajo carbono y alto en cenizas e impurezas. En este cálculo no hay un control técnico preciso, sino un tanto empírico, y solo se logra por medio de la práctica conocer las cantidades de carbono necesarias para dicho trabajo.

Con respecto al cálculo de las cargas de ferroaleaciones tales como ferromanganeso y ferrosilicio, éstas sí pueden ser controladas por medio de su análisis químico, pues si un ferromanganeso contiene 50% de Mn y el producto fundido debe tener como característica de .6 a .8% de Mn, se podrá calcular perfectamente

con respecto a las cargas de hierro, la cantidad de ferroaleación necesaria para ligarse en las características dichas, mediante otro análisis del producto obtenido, y así corregir ya sea en aumento o en disminución la proporción de la ferroliga.

El cálculo de las cargas de fundente se hace mediante el conocimiento de las escorias y del combustible empleado, es decir, de sus análisis químico y físico. La primera, observando la fluidez de la escoria al vaciar el metal fundido y su análisis con respecto a las impurezas absorbidas; el segundo, por el análisis del carbono con respecto a su porcentaje de cenizas e impurezas tales como algo de azufre, etc. De esta manera se procedió a calcular las cargas para el cubilote, habiéndose obtenido las siguientes:

#### CARACTERISTICAS DE MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS.

Materiales	Carbono %	Silicio %	Fosforo %	Manganeso %	Azufre %
1 Pedacería de acero	0.6—1.20	—0.1	.02—.04	0.2—0.7	.02—.04
2 Pedacería de hierro Ling. bajo fosforo	3.5—4.0	2.5—3.0	0.1	0.5—0.8	.05
3 Pedacería de hierro co- lado gris	2.5—3.5	2.0	0.5—0.9	0.6—1.0	.05
4 Ferro man- ganeso	7.5	78—1.0	0.4	78.—	.05
5 Ferrosili- cio:	— — —	47—53	— — —	— — —	— — —
6 Ferrosilicio Grado B	— — —	72—78	— — —	— — —	— — —

Teniendo en cuenta estos datos se calcula la carga, escogiendo el material conveniente, hasta obtener las características pedidas del producto por obtener.

Calculo de las cargas.

---

1.—Pedacería de acero C 0.6% Se le saca Tercera	0.18	
2.—Pedacería de hierro C 3.25% Se le saca Quinta	0.65	
3.—Lingote de hierro C 3.75% Se le saca Mitad	1.875	
	2.705	de

Carbono.

Operaciones:

En 100 Kgr. de carga total hay:

1)	100	30	18			
				=		=
	0.6	x	100			
2)	100	20	65			
				=		=
	3.25	x	100			
3)	100	50	187.5			
				=		=
	3.75	x	100			

A este porcentaje obtenido de 2.705 se le agrega el limite mínimo de absorción que es de 12% en el proceso de fundición en cubilote.

$$\frac{100}{2.705} \times \frac{12}{100} = .324$$

luego sumando este tenemos:

$2.70 + 0.324 = 3.024\%$  de C que esta dentro de los limites característicos

---

Ahora con respecto a los calculos de silicio, se hace escogiendo los materiales apropiados teniendo en cuenta que en el proceso de fución es eliminado el 15% en la escoria. Para lo cual habrá que agregarle el ferrosilicio conveniente.

Una vez determinado el porcentaje de carbono en Kgr. para la carga de 100 Kg. el, silicio se le calcula en la misma forma que en el carbono.

$$\begin{array}{r}
 1) \quad 100 \quad 30 \\
 \hline \hline
 \quad \quad 0.1 \quad x \\
 2) \quad 100 \quad 20 \\
 \hline \hline
 \quad \quad 3.0 \quad x \\
 3) \quad 100 \quad 50 \\
 \hline \hline
 \quad \quad 2.0 \quad x
 \end{array}$$

Sumando tenemos; .003  
  .600  
  .500

1.103

Substrayendole el 15% de perdida:  $100 \quad 15 \quad \text{te-}$

$$\begin{array}{r}
 \hline \hline
 \quad \quad 1.103 \quad x \\
 \hline \hline
 \quad \quad \quad \quad = 0.16545
 \end{array}$$

$1.103 - 0.16545 = 0.93755$  % de Silicio  
  Ahora bien el ferrosilicio tiene de 47 a 53%

Entonces:

1 Kgr. contiene 0.53 Kgr. de Si  
  Que sumados al resultado anterior da:  
 $0.93755 + 0.53 = 1.567\%$  de Silicio

Estando este resultado dentro de las características pedidas.

Con respecto a los demás elementos, como en el cubilote no hay reacciones Químicas en gran escala que lleguen a cambiar notablemente la composición de los materiales mezclados en la fusión, únicamente se concreta uno a escoger el material que menos impurezas tenga.

Pedacería de acero .....	30	kgs.
Pedacería de hierro gris .....	20	"
Lingote de Monterrey .....	50	"
Ferromanganeso .....	0.5	"

o bien:

Pedacería de acero .....	30	kgs.	
Coladas del mismo material .....	20	"	
Lingote de Monterrey .....	50	"	
Ferromanganeso .....	0.5	"	
Cama de 70 centímetros de altura, consistente en:			
Carbón de alquitrán .....	30%)		} 15 kgs.
Carbón standard .....	70%)		
Cargas intermedias:			
Carbón standard .....	18	kgs.	
Piedra caliza .....	5	"	
Las sangrías serán de cada 7 á 10 minutos, según se observe.			

### CALCULO DE LA CANTIDAD DE AIRE

El aire es muy necesario para la combustión del carbono, a fin de que este sea capaz de fundir el metal. Por esta razón es muy importante el cálculo del volumen de aire necesario.

El aire va en función de la sección del cubilote. Como el plano del cubilote de la planta tiene de diámetro 530 mm., entonces se calculará primeramente su sección, o sea su área, aplicando la fórmula siguiente:

$$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \times .53^2}{4} = .220 \text{ m}^2$$

La práctica ha dado los siguientes datos: 80 a 100 m de aire por minuto, por cada m<sup>2</sup> de sección del cubilote que se emplee. Entonces, si se tuviera un cubilote de 1 m<sup>2</sup> de sección y tomando la cantidad máxima de 100 m<sup>3</sup> de aire por minuto, sería:

$$\frac{100}{1} = 100 \text{ m}^3 \text{ de aire;}$$

pero el cubilote de este cálculo es de solamente la quinta parte de un metro, entonces:

$$\frac{100}{5} = 20 \text{ m}^3 \text{ de aire por minuto, a la presión normal.}$$

Pero en la Ciudad de México, la presión barométrica es de 586 a 587 y entonces la corrección se hace como sigue:

Según la fórmula:

$$V_t P_t = \frac{V_o P_o T}{273} \text{ en la que:}$$

$$T = (T + 273);$$

$$t = \pm 20 \text{ C.};$$

$$V_o = 20 \text{ m}^3;$$

$$P_o = 760 \text{ mm.}$$

$$P_t = 586 \text{ mm.}$$

Despejando:

$$V_t P_t = \frac{V_o P_o (t + 273)}{273}$$

$$V_t = \frac{V_o P_o (t + 273)}{P_t \cdot 273}$$

Substituyendo valores:

$$V_t = \frac{20 \times 760 (20 + 273)}{586 \times 273} = \frac{20 \times 760 \times 293}{586 \times 273} = \frac{4453600}{1599780} = 27.7 \text{ m}^3$$

de aire por minuto que necesita este horno para el trabajo de esta clase de fundición. Una vez calculado el volumen necesario, se le imprime una cierta presión; es decir, una sobrepresión, para hacerlo conducir por las toberas hasta las cargas. Esta presión se mide en cms. o en mm. de columna de aire, cuyas unidades son: 1 atmósfera = 1.033 kg. (pero en la práctica se toma: 1 atmósfera = 1.000 kg/cm<sup>2</sup>).

Estas presiones se miden como presiones además de la normal del lugar donde se trabaje.

Teniendo ya estos datos, se procede a preparar el horno, lo cual se hace de la manera siguiente:

Se coloca el piso apisonado e inclinado y se pone a secar con leña encendida, para eliminar la humedad. Una vez caliente el horno, se carga con carbón alquitrán (30%) y carbón standard (70%), en un total de 15 kgs de trozos grandes primero, hasta formar una cama de 70 cms. de altura la cual se mide con una barreta larga marcada, introduciéndola por la puerta de carga.

Por razón natural el carbón inicia su combustión lentamente, por lo cual se le deja reposar cierto tiempo, después del cual se ratifica la altura de la cama. Hecho ésto se sigue cargando según especificaciones, aternando cargas de hierro, acero, etc., y cargas de carbón standard y caliza hasta llegar a la puerta de carga. El orden correcto de estas cargas, después de obtenida la altura conveniente de la cama, es el siguiente: primero el fundente (caliza), después la pedacería de acero, en seguida la de hierro colado gris, luego el lingote de Monterrey, el ferromanganseo, las cargas intermedias de carbón standard y así en este orden sucesivamente hasta llegar a la puerta de carga.

En algunas ocasiones se agrega espato fluor para dar mayor fluidez a la escoria, cuando se observa que ésta es muy viscosa; pero en la mayoría de las veces se debe evitar emplearlo, porque el espato fluor corroe el material refractario inutilizándole para operaciones posteriores. Una vez cargado el horno, se deja reposar una hora después de la cual se inyecta a las toberas el aire calculado, dejando el orificio de colada destapado unos 13 o 15 minutos hasta que empiece a escurrir el hierro fundido.

Este primer hierro fundido sale muy viscoso a causa de la falta de calor suficiente, pero va disminuyendo su viscosidad hasta hacerse más fluído; ésto dura alrededor de 13 a 15 minutos, perdiéndose una cantidad de 2 a 3 kilogramos de hierro.

Una vez que el hierro sale bastante fluído, se tapa el orificio de colada con tapones de barro refractario de forma cónica. Después de tapado se deja que se efectúen en la fusión las diferentes reacciones que tienen lugar, y después de cierto tiempo se hace la primera sangría (en este caso de 7 a 10 minutos).

Antes de cada sangría se debe tener precaución de limpiar la canal, quitándole la escoria, el metal, etc., que hayan quedado. Las sangrías deben ser controladas con tiempo exacto. El tiempo que se necesita para destapar y volver a tapar, es decir, el que tarda el metal fundido en salir para llenar una o dos cucharas, es de un minuto, y a partir de éste se empieza a contar para la siguiente sangría (en el caso particular de este horno).

Ahora bien, en el intermedio de colada se procede a remover las cargas para uniformizarlas, para lo cual nos valemos de unas barretas de hierro largas y resistentes, que se introducen por las mirillas o atisbaderos frente a las toberas y sirven también para que la escoria no tape la entrada del viento a las toberas.

Generalmente, después de cada cuatro coladas se escorifica por el orificio a propósito, que en este horno se encuentra en la parte posterior; la escorificación se hace unos dos o tres minutos antes de sangrar el hierro, por la siguiente razón: precisamente un poco antes de la sangría, la escoria de las fusiones anteriores

se ha ido acumulando en la superficie del metal fundido que se encuentra al nivel del orificio de escorificación, lo que se aprovecha para eliminarla.

El tiempo de escorificación es de 3 a 4 minutos, pues siendo la escoria más viscosa que el metal tarda más en salir, y por esta razón se prolonga el tiempo de la sangría del hierro 1 o 2 minutos más.

Durante todas estas sangrías se debe procurar mantener la altura de la cama, lo cual se logra con las cargas alternadas de carbón standard que lleva el horno.

Como a medida que se hacen las coladas las cargas del horno van bajando, se debe volver a cargar éste para obtener el rendimiento deseado, o sea el total de las cajas moldeadas, que pueden ser de 100 a 500 o más.

Una vez vaciadas todas estas, se suspende el soplo y si queda

algo cargado el horno; se lingotean las cargas residuales y finalmente se destapa el fondo del horno y se descarga lo que haya quedado.

## DESCRIPCION Y MANIPULACION DE LAS CUCHARAS DE COLADA. CUCHARAS Y TAMBORES DE COLADA

Para el transporte del metal líquido desde los cubilotes a las cajas de moldeo, se emplean cucharas y tambores de colada. Las cucharas pueden ser construídas para el transporte a mano, con mango remachado (para vaciar piezas pequeñas), o con portacucharas de horquilla. Además se emplean cuchara y tambores para transportes por grúa o sobre vagonetas.

Los tambores de colada ofrecen más ventajas que las cucharas, porque el hierro se mantiene caliente durante más tiempo en éstos y su funcionamiento es más seguro y de menor riesgo. La descarga de los tambores se efectúa sin esfuerzo por parte de los obreros, aún en los de mayor capacidad, siendo el metal líquido un chorro uniforme fácil de regular.

Son de recomendarse especialmente los tambores cuando el hierro ha de ser transportado a largas distancias y descargado en cucharas portátiles.

Los tambores están revestidos interiormente de una capa de ladrillos refractarios, por lo que ofrecen mayor resistencia y duración que las cucharas de colada, que están revestidas con barro refractario. Las cucharas son de lámina de acero, remachadas y con revestimiento interior de barro refractario; su forma es troncocónica, su capacidad varía desde 20 kgs. hasta 5 toneladas y según ésta será su manipulación. Así, si es de 50 a 150 kgs., podrá ser levantada por dos hombres ayudándose con el portacucharas de horquilla

Este consiste en una barreta que en su parte media tiene un

anillo del diámetro de la cuchara y que la abraza ligeramente ajustada a presión; en un extremo lleva una horquilla de la amplitud necesaria para que el obrero quepa en ella y pueda levantarla con los dos brazos. La longitud de la barreta, a partir de la parte que se une con el anillo de cada uno de los extremos es de más o menos un metro, para que el calor y salpicaduras del metal fundido no perjudique a los portadores y éstos puedan vaciar fácilmente y sin riesgo alguno. En caso de que la cuchara sea de mayor capacidad, es colocada en unas abrazaderas puente y éste elevado y transportado el conjunto por medio de la grúa, hasta las cajas moldeadas.

Ahora bien, ya sea que se empleen cucharas o tambores, deben ser previamente secados con leña para eliminar la humedad, y posteriormente calentados con petróleo durante 1 a 1.5 horas antes de la primera colada, por esta razón: si se empleara la cuchara inmediatamente después de su revestimiento, la humedad ocasionaría explosiones en el seno del metal fundido y, proyectándolo, originaría pérdidas de material así como posibles accidentes; por eso no solamente se deben secar, sino también mantenerlas calientes al rojo para que el hierro fundido, que sale del horno a una temperatura de 1350 grados C., no encuentre frío el lugar y pueda escurrir en chorro con facilidad a las cajas moldeadas.

En cada una de las coladas de hierro, una vez llena se le debe quitar la escoria que flota en la superficie; pero como en la mayoría de los casos la cantidad de escoria es pequeña, hay necesidad de espolvorear arena cuarzosa sobre el metal fundido para que se engrose la capa de escoria y pueda ser retirada de la superficie y después ser vaciada en los orificios de las cajas moldeadas, procurando que la poca escoria que se desprenda no penetre a las coladas, porque origina incrustaciones en la superficie del metal una vez solidificado.

#### **b) REACCIONES QUIMICAS QUE SE VERIFICAN EN ESTE PROCESO**

En el proceso general de fundición en horno de cubilote, se

efectúan reacciones químicas de escasa importancia si se comparan con las que ocurren en el alto horno, en el horno eléctrico, etc. pues en el cubilote se verifica propiamente una mera fusión, sin que haya una transformación en gran escala de las impurezas propias del metal.

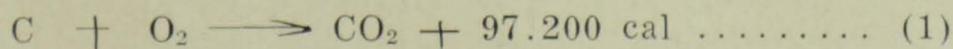
No por ello dejan de efectuarse ciertas reacciones, y más en el caso de la fundición acerada que, como ya cité anteriormente, debe mantenerse dentro de ciertas características que la hacen no ser un hierro común.

Estas reacciones se producen en la forma siguiente:

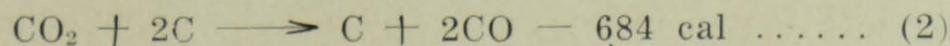
Según hemos visto con anterioridad, las cargas se hacen con acero y hierro colado de primera o más fusiones; ahora bien, la proporción de carbono en los aceros varía entre .07 a 1.7% y en los colados entre 1.8 a 4.7%; al efectuarse la refusión, tanto el acero como el hierro colado se descomponen, absorbiendo más carbono.

Por otra parte, la adición del combustible origina cierta absorción de él hasta un determinado límite, que es de 4.7% C; pero como precisamente en este producto se necesita que el porcentaje de carbono varíe entre 3 a 3.25, es por esto que las cargas de metal contengan un 30% de acero de bajo carbono, y como el hierro de Monterrey es de más o menos 4% de carbono y el de las fusiones de 3 a 4% C, hay un equilibrio por el cual se logra la homogeneidad del carbono en el metal en forma gráfica.

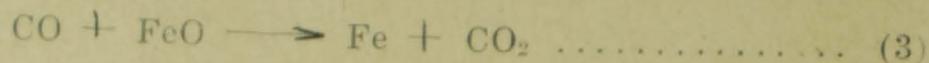
Otra parte del carbono es eliminada en forma de CO y CO<sub>2</sub> por el aire que entra por las toberas, que oxida ligeramente al hierro; pero este se encuentra saturado por el C que lo desoxida, carburándolo teóricamente en la forma siguiente:



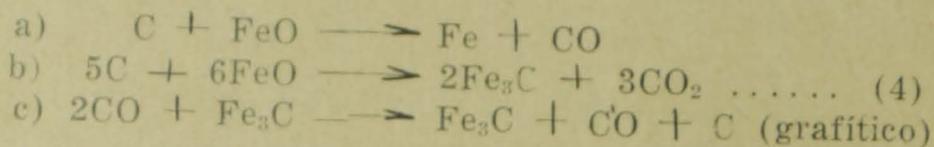
Este CO<sub>2</sub>, en exceso de C a mayor temperatura se reduce absorbiendo calor:



Al reaccionar con el Fe, que puede estar oxidado por la intemperie o por el O del aire de las toberas en forma de FeO, es reducido a Fe:



Como está en un exceso de C por la cama puesta en el cubilote, tenemos:



Esta carburización y presipitación es debida al Si y Mn que se encuentran presentes en las cargas de hierro colado y agregado como ferroaleación de ferrosilicio y ferromanganeso. En cuanto a los demás elementos, tales como P, S, Si y Mn, se encuentran en el metal fundido homogéneamente en cantidades pequeñas, sin que haya propiamente reacciones de importancia en esta clase de hornos, lográndose únicamente controlar su porcentaje adicionando material adecuado de acero, hierro colado y carbón, que al mezclarse íntimamente dé origen a las características químicas deseadas; es decir, que si se necesita obtener un producto de 1.60 a 2% de Si, los dos primeros deben dar este porcentaje al mezclarse. Lo mismo ocurre con las demás impurezas propias del material.

## SEGUNDA PARTE

### CAPITULO V

#### CONTROL TECNICO Y QUIMICO DE ESTA CLASE DE FUNDICION

Desde el punto de vista técnico, las observaciones efectuadas durante todo el trabajo de las cargas hasta el desmoldeo de las piezas, origina el control técnico dentro de la misma operación siderúrgica auxiliada forzosamente por el control químico y metalográfico, que en último término son los que determinan científica y exactamente si las piezas obtenidas en la fundición pueden ser utilizadas o rechazadas.

Los cálculos son obtenidos por experiencias derivadas de la práctica, estudiando cada caso y comparándolas entre sí hasta obtener las especificaciones tipo que más tarde se reglamentan y acondicionan en forma textual.

Así el control del horno se debe tener desde su construcción o reparación, v. gr., que los refractarios no estén húmedos al iniciar las cargas, que éstas estén bien pesadas según el cálculo dado por el diámetro interior del cobilote, que el tiempo de la fusión se inicie con el reposo que necesita, que el aire sea inyectado a la presión calculada, que cada sangría se efectúe con tiempo exacto y que en cada colada se tomen muestras para su análisis químico hasta lograr uniformidad para las fusiones posteriores, pues en el cubilote varían unas de otras.

## CONTROL QUIMICO.

Tratándose de esta fundición el análisis químico es común, o sea que sus determinaciones son cinco, a saber: carbón azufre, fósforo manganeso y silicio, y cuyos métodos de cuanteo deben ser rápidos y sencillos para su pronto conocimiento.

**Análisis del Carbono.**—Este elemento se determina volumétricamente, pesando por duplicado muestras de 0.250 g. cada una y poniéndolas en navecillas de porcelana, colocándolo en el horno en un tubo de porcelana o de silimanita hasta alcanzar una temperatura de 1000 grados a 1300 grados C. capaz de fundir la muestra y oxidarla con ayuda de una corriente de oxígeno, el cual se combina con el carbono de la muestra en forma de  $\text{CO}_2$  totalmente, y trasladada a un serpentín de enfriamiento, pasando después a una bureta graduada que desaloja una solución ligeramente acidulada con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y con indicador de rojo de metilo, hasta llegar al nivel O; después es expulsado el gas a otro compartimiento en el que se encuentra una solución de KOH al 50% la cual absorbe el  $\text{CO}_2$ . Posteriormente el exceso de gas, que en este caso es oxígeno, hace desalojar nuevamente la bureta hasta un nivel x, cuya lectura se hace en una escala del mismo y se multiplica por 4 o por 2 según la pesada de la muestra, ya sea de hierro colado o de acero, obteniendo directamente el porcentaje de carbono presente. Este método es el más rápido y exacto, pero con la circunstancia de que únicamente acusa el C total. El aparato donde se efectúa esta determinación es el D.R.P. Strohlein & Co., G.m.b.H., Dusseldorf, Hamburgo. La duración de este análisis es de 6 a 7 minutos.

**Análisis del azufre.**—El azufre se analiza por el método evolutivo volumétrico. Tomando una muestra de 2.5 a 5 g. se le ataca con ácido clorhídrico dil. (1—1) y calentándolo se desprende  $\text{H}_2\text{S}$  que es recogido en una solución amoniacal de cloruro de cadmio, el cual es transformado a sulfuro de cadmio, una vez atacada toda la muestra se disuelve el sulfuro formado en HCl (1—1) y se titula con sol. yodada valorada. Empleando como indicador una sol. de almidón esta titulación se lleva hasta que aparezca un co-

lor ligeramente violeta. La lectura de la bureta se multiplica por su factor y se obtiene el porcentaje de S presente. Esta determinación se hace en 20 ó 25 minutos.

**Análisis del fósforo.**—Esta determinación es volumétrica, por método ácido-alcalino.

Tomando 1 g. de la muestra se le ataca con  $\text{HNO}_3$  dil. (1—3) y se calienta hasta total disolución; posteriormente se oxida con  $\text{KMnO}_4$  en sol. saturada, hasta que la sol. tenga color café chocolate, después se elimina el exceso de permanganato de potasio reduciéndolo con sol. de  $\text{FeSO}_4$  o con sol. saturada de azúcar ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ) hasta que aclare nuevamente la sol. y luego, así caliente, se acidula ligeramente con  $\text{HNO}_3$  concentrado y se le agrega unos 50 c.c. de sol. de molibdato de amonio hasta completa precipitación del fosfomolibdato de amonio, ayudando a ésta con  $\text{NH}_4\text{OH}$  concentrado para aumentar el ion común.

Hay que tener cuidado que no se forme ácido molíbdico, en cuyo caso se le disuelve en  $\text{HNO}_3$  conc. y se espera a que precipita solamente el fosfomolibdato de amonio. Posteriormente este precipitado se lleva a la centrífuga y se lava dos o tres veces dentro del bulbo, desechando los lavados hasta no tener reacción ácida.

Ya sea en uno y otro caso, este precipitado se disuelve en sol. valorada de  $\text{NaOH}$  y se retitula el exceso de ésta con sol. valorada de  $\text{HNO}_3$ , empleando como indicador fenolftaleína y haciendo los cálculos según lectura en las buretas para obtener el porcentaje de P presente en la muestra. Este análisis se hace en 15 o 20 minutos con centrífuga, en 30 o 40 min. filtrando, a menos que se use el vacío.

**Análisis del Manganeso.**—Esta determinación es volumétrica. Se pesan generalmente de 0.1 a 0.2 g. de muestra y se colocan en un erlenmeyer de 250 c.c. de cap., atacándose la muestra con 15 c.c. de una sol. fuertemente nítrica de  $\text{AgNO}_3$ , tapando el matraz con un vidrio de reloj.

Una vez disuelta la muestra, se diluye con agua caliente hasta unos 100 c.c. y se lleva a ebullición, agregándole en estas condiciones una sol. de persulfato de amonio para que oxide el ión manganeso a permangánico, lo cual se sabe por la aparición del color rojizo.

Tan luego como aparece este color se enfría rápidamente y ya fría se le agrega una sol. al 5% de NaCl, precipitándose AgCl, que conserva el mismo color rojizo aunque ahora turbio. Posteriormente se titula con una sol. valorada de arsenito de sodio, hasta completa desaparición del color rojizo. Después se lee en la bureta el número de c.c. gastados y se multiplica por el factor, lo cual nos dará el porcentaje directo de Mn presente en la muestra analizada. Este análisis se puede hacer en unos 8 o 10 min.

**Análisis del Silicio** —Este análisis es gravimétrico. Se pesan de 1 a 2 g. de muestra y se coloca en un vaso de precipitados de 250 c.c. atacándola con HCl diluido (1—1) y calentando hasta completa disolución, se deja evaporar hasta cerca de la sequedad y se enfría, agregando 5 c.c. de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> diluido (1—3), calentando hasta desprendimiento de los humos blancos y densos de SO<sub>3</sub> enfriando y agregando HCl conc. calentando esta nueva adición con objeto de solubilizar todos los componentes menos el Si, que se precipita como SiO<sub>2</sub>; luego se agrega agua caliente y se lleva a ebullición por 5 min. Posteriormente se filtra en papel de cenizas conocidas, se seca el filtro y se calcina, se pesan las cenizas y el SiO<sub>2</sub> y se restan las primeras, quedando solamente el SiO<sub>2</sub> que multiplicado por ,4693 y por 100 nos dará el porcentaje de Si presente en la muestra. Esta determinación necesita de 2 a 2.15 horas.

## CONTROL DE PRUEBAS METALOGRAFICAS Y PRUEBAS MECANICAS

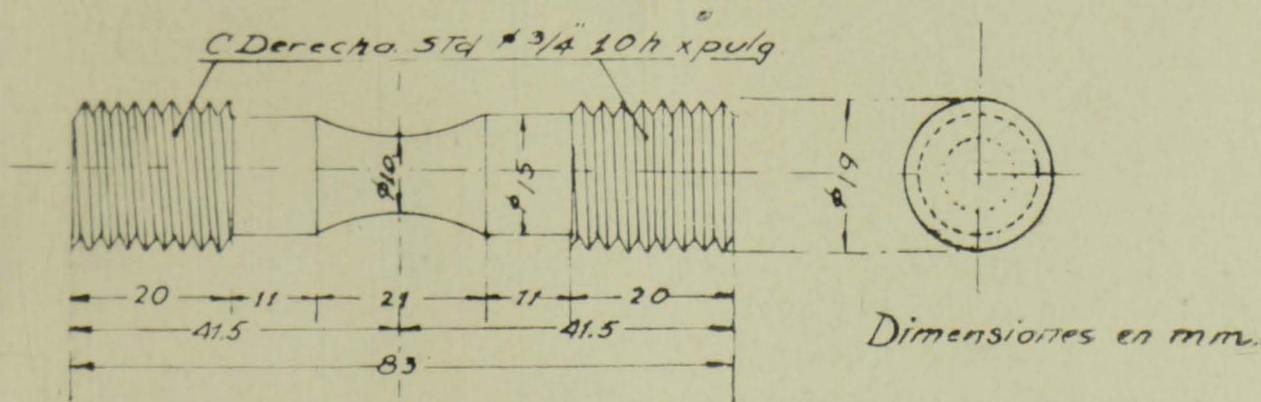
Estas pruebas se efectúan con probetas especiales tomadas del mismo metal con el cual se vacían las piezas; siendo estas pro-

betas de forma cilíndrica moldeadas en arena a un diámetro de 1. ¼". Dichas pruebas consisten en:

- 1.—Pruebas de resistencia a la tracción.
- 2.—Pruebas de resistencia a la penetración.
- 3.—Pruebas de una fracción del producto, que consiste en su observación en el metaloscopio.

Descripción de estas pruebas, citando los resultados obtenidos en esta fundición, así como su tolerancia:

1.—La prueba de resistencia a la tracción se hace con probetas cilíndricas torneadas, que llevan una depresión, también cilíndrica, a la mitad de la barreta; en los extremos llevan cuerdas para poder ser atornilladas a las mordazas de la máquina de prueba. Las características de estas probetas son las siguientes:



Los resultados obtenidos en tres pruebas de tres fusiones diferentes, fueron como sigue:

	1a. Probeta	2a. Probeta	3a. Probeta.
Carga .....	165OK	1240 K	2090 K
Resistencia ..	21.01 k/mm <sup>2</sup>	15.08 k/mm <sup>2</sup>	26.7 k/mm <sup>2</sup>

Los cálculos de esta prueba, según los datos de carga y dimensiones de la probeta, se hicieron en esta forma:

a) Se calcula la superficie de la sección de la probeta, cuyo diámetro es de 10 mm.:

$$S = \pi . r^2 \quad \therefore S = 3.14 \times 5^2 = 78.5 \text{ mm}$$

b) Se divide el número de kilogramos registrados por la máquina entre la superficie obtenida:

$$\frac{\text{Núm. kilogr.}}{S} = X$$

1a. Prueba:—	1650	=	21.01 kg. mm <sup>2</sup>
	78.50		
2a. Prueba:—	1240	=	15.08 kg. mm <sup>2</sup>
	78.50		
3a. Prueba:—	2090	=	26.70 kg. mm <sup>2</sup>
	78.50		

Como puede verse por las pruebas anteriores, la más satisfactoria fué la 3|a., por ajustarse más a las características que debe tener esta clase de fundición, puesto que el mínimo debe ser de 23 kg|mm<sup>2</sup>

2.—La prueba a la penetración, o sea la dureza del material, se toma en máquina Rockwell. Las efectuadas fueron las siguientes:

- 1a. Probeta:—Dureza Rockwell Escala B igual 94 a 96.
- 2a. Probeta:—Dureza Rockwell Escala B igual 93 a 95
- 3a. Probeta:—Dureza Rockwell Escala B igual 98 a 100

Como puede verse, los resultados fueron satisfactorios, pues las probetas se encuentran dentro de las especificaciones, que

deben ser entre 90 y 105 de dureza Rockwell, escala B. para que se puedan maquinar con facilidad.

3.—Esta tercera prueba se hace en el metaloscopio, o sea un microscopio metalográfico, con el cual se observó una fracción del producto con una superficie perfectamente pulida y atacada con ácido, para ver si se presentaban oclusiones sólidas o gaseosas y para verificar su estructura cristalina, o sea el tamaño de los cristales, su ordenamiento con respecto unos a otros en caso de aleaciones que al ser comparadas con tablas tipo se puede deducir si es de utilizarse el lote de las piezas fundidas, o debe rechazarse

**Control de las Arenas de Moldeo** —Este control es también de vital importancia para obtener una buena fundición.

Mediante el mismo, puede evitarse que el producto fundido resulte con imperfecciones, tales como poros (en su mayoría) a fisuras, que pueden ser corregidas por dicho control: 1o. en el laboratorio, 2o. en el taller.

1o.—El control en el laboratorio consiste en determinar la permeabilidad de la arena, su resistencia mecánica a la presión, su ensaye granulométrico, su análisis químico y la determinación de aglutinantes adecuados.

2o.—El control en el taller se basa en la vigilancia del personal de moldeo encargado de efectuar las mezclas determinadas en el laboratorio, así como el sistema de apriete de la arena en las cajas de moldeo.

Si se sigue este control técnico-químico, podrán vencerse los problemas que a menudo se presentan en la fundición.

Citaremos en seguida el proceso de control de las arenas en el laboratorio.

Primeramente se toman muestras de las arenas del taller (2 a 3 kg.) para sujetarlas a las pruebas siguientes:

- a) Determinación de la humedad y microscópica.
- b) Ensaye granulométrico.
- c) Ensaye de la arcilla.
- d) Pérdidas al rojo y refractabilidad.
- e) Pruebas de permeabilidad.
- f) Pruebas de resistencia.
- g) Análisis químico.

**a) Determinación de la humedad y microscópica.**

Se pesan 10 g. de muestra en una cápsula previamente tarada y seca se pone a la estufa a una temperatura de 105 grado C. durante una hora y al cabo de este tiempo se pesan. La diferencia de pesos dará directamente el porcentaje de humedad de la muestra.

En algunos casos de urgencia, se modifica este procedimiento en la manera siguiente: se le pone alcohol a la muestra y se enciende, para hacer evaporar rápidamente el agua de la arena hasta secarla; una vez seca, se pesa. Este método es un poco menos exacto que el anterior. En las pruebas efectuadas en el laboratorio se obtuvo, de dos muestras, 7.5% en la primera.

Una vez determinada la humedad, se observan al microscopio la forma y tamaño del grano para deducir la clase de aglutinante necesario, del que se tratará en el ensaye de la arcilla.

**b) Ensaye granulométrico.**

Este ensaye consiste en poner a secar 125 g. a 130 g. de la arena muestra general (deducida por la determinación de la humedad), y una vez seca se pesan 100 g. y se colocan en una serie

de 9 tamices, uno sobre otro, con diferente número de mallas, empezando en la parte superior con el de mayor paso y después que ha pasado por el último se recoge el residuo en una charola de la misma forma que los tamices, que se embonan ajustados unos con otros según su número. Los tamices empleados para esta operación son de los números 6, 12, 40, 70, 100, 140, 200 y 270 y además la charola.

Estando colocados en el orden citado anteriormente, se pone la muestra seca en el primer tamiz y se tapa. El conjunto es colocado en la máquina tamizadora, que consta de las siguientes partes:

- 1.—Tamices.
- 2.—Plataforma móvil.
- 3.—Motor.
- 4.—Regulador de la velocidad.
- 5.—Apagador.

Esta máquina dá a los tamices un movimiento de vaivén durante 60 minutos, por medio del motor que se regula en su velocidad, con el objeto de que los granos de arena pasen de un tamiz a los inmediatos inferiores según su tamaño.

Después del tiempo de tamizado, se pesan las diferentes cantidades de arena retenida en cada tamiz numerado (cuyo número corresponde al de mallas por pulgada cuadrada). Con estos datos ya se puede calcular el índice medio de finura, ordenándolos en una tabla como se ilustra a continuación.

CALCULO DEL INDICE DE FINURA MEDIO

Muestra número.	Tamiz núm	%Resíduo en gram.	Número de grano G	Producto q.G	Indice de finura Medio
1	6	0.00	3	0.0	S qG
	12	0.70	5	3.5	—
	20	6.55	10	65.5	S q
	40	57.55	30	1626.5	Substituyendo va-
	70	23.60	50	1180.0	lores:
	100	6.30	70	441.0	
	140	3.10	100	310.0	4080.7
	200	1.63	140	228.2	— = 41.48
	270	0.60	200	120.0	98.38
	Base	0.35	300	105.0	
Total (S q )		98.38	(S qG)	4080.7	
2	6	0.00	3	0.0	
	12	0.00	5	0.0	
	20	0.40	10	4.0	
	40	24.00	30	720.0	5502.0
	70	49.00	50	2450.0	— = 54.965
	100	15.60	70	1092.0	100.1
	140	6.80	100	680.0	
	200	2.65	140	371.0	
	270	0.10	200	20.0	
	Base	0.55	300	165.0	
Total (S q )		100.10	(S qG)	5502.0	

En la fórmula anterior:

G — Número de grano, en relación con su tamaño.

q — Porcentaje de arena retenido en cada tamir.

S — Indica operación de sumar.

G.q — Producto del número de grano por el porcentaje.

Las tablas muestran los índices de finura media de dos are-

nas, según pruebas efectuadas en el laboratorio. La muestra número 1 es una arena mezclada con aglutinantes y la número 2 una arena común.

### c) Ensaye de la arcilla.

Este ensaye tiene una gran importancia, pues de él depende que la arena se emplee con buenos resultados en la fundición, ya que la arcilla o barro, que es un aglutinante de los granos de la arena, desempeña un papel muy importante debido a que su presencia en cuanto a cantidad influye en las tres condiciones fundamentales para ser aceptada una arena de moldeo.

La arcilla o barro se determina bajo las tres formas siguientes: total, plástica y coloide.

La **plástica** hace que la arena tome la forma deseada. La **coloide**, por gran finura, es la que aglomera los granos, pegándolos.

Estas determinaciones se efectúan de la siguiente manera:

Para la arcilla **total** se pesan 50 g. de arena secada en la estufa y se coloca en un vaso de precipitados de 1000 c.c. poniéndole agua hasta las tres cuartas partes y llevándola a ebullición durante cinco minutos por lo menos, con agitación mecánica continua. Posteriormente se deja reposar unos 5 o 10 min. y se decanta el agua que lleva el barro en suspensión, luego se hacen las lexivaciones necesarias, en frío y agitando constantemente hasta que el agua salga lo menos turbia posible. Después de esto se pone a secar la arena sin barro y se pesa; la diferencia nos dará el porcentaje de arcilla total.

La determinación de la arcilla **plástica** se hace igual que la anterior, con la sola diferencia de que la primera lexivación no se calienta, sino todas se hacen en frío. Al terminar la última lexivación, se seca la arena y se pesa para obtener por la diferencia el porcentaje de arcilla plástica.

En cuanto a la **coloide**, se determina por la diferencia de los resultados obtenidos en las dos anteriores, o sea de la arcilla total y la arcilla plástica.

Como ejemplo daremos los resultados de una muestra:

Arcilla total . . . . .	10.8%
Arcilla plástica . . . . .	14.8%
Arcilla coloide . . . . .	4.0%

Como ya dijimos, de la cantidad de arcilla o barro depende que la arena sea conveniente o no, pues su influencia es fundamental; en cuanto a plasticidad, mientras más barro contenga será más plástica, pero su abundante presencia disminuye la permeabilidad y la refractabilidad.

Una vez hechas las mezclas de arena y barro, nos valemos nuevamente del microscopio para observar la aglomeración de los granos.

#### **d) Pérdidas al rojo y refractabilidad.**

Con esta determinación sabemos la cantidad de substancia orgánica que contiene la arena, por medio de un aumento de temperatura que la haga desaparecer.

La prueba se hace pesando 5 g. de arena seca, que puesta en un crisol es calentada hasta unos 600grados C. durante 5 min.; luego se deja enfriar y se pesa. La diferencia dará la pérdida de materia orgánica.

Con respecto a la refractabilidad, se determina a qué temperatura la arena funde o se reblandece. Para hacer esta determinación hay que vaciar cierta cantidad de acero sobre la arena y observar si ésta no se funde. La práctica he demostrado que las arenas de grano grueso son más refractarias que las de grano fino.

### e) Prueba de permeabilidad.

Esta determinación también tiene gran importancia para conocer la facilidad con que los gases pueden atravesar los espacios que dejan los granos entre sí, pues de ello depende que no haya oclusiones de gases en el metal vaciado.

Esta prueba se hace del siguiente modo:

Se toman de 150 a 175 g. de la muestra primitiva, es decir, de la traída del taller con humedad, se coloca dentro de un cilindro molde de níquel de unos 20 o 25 cms<sup>2</sup> de sección que está provisto con una base que no es fija y puede quitarse con facilidad, con un centro por el cual se fija a un aparato apisonador.

Dentro del cilindro con arena se coloca un émbolo de madera que penetra ligeramente ajustado a la sección del cilindro, y que sirve de guía. El conjunto se pone debajo de la máquina apisonadora y por medio de una manija se hace ascender el apisonador dejándolo caer verticalmente para que comprima la arena; esta operación se efectúa tres veces en total, obteniéndose una probeta que debe tener una altura de 50.8 mm. con una tolerancia de 1 mm. de más o de menos. En cuanto a la altura, se deduce por medio de una marca que tiene el aparato. En caso de que no resulte correcta la probeta, quiere decir que la pesada deberá ser menor o mayor, según que la probeta sea de más de 2" o de menos, hasta obtener las características antes indicadas, anotando la pesada. En las pruebas efectuadas se obtuvieron los siguientes datos:

Se tomó una muestra de 170 g. de arena húmeda que dió una probeta correcta de 2". Una vez obtenida, se pasó al aparato registrador de permeabilidad, el que consiste en un tanque cilíndrico abierto por arriba, provisto de un tubo central que vá hacia el fondo y se prolonga hacia abajo, comunicándose con una tobera por donde sale el aire. El tanque contiene agua y una campana de aluminio con un tubo axial que corre dentro del tubo central del recipiente; este tubo tiene perforaciones en la parte superior, para dar paso al aire. El volumen de aire que debe contener la

campana es de 2 lts. cantidad que se mide por medio de marcas hechas en la campana con respecto al borde del recipiente, lográndose así saber la cantidad de aire existente en la campana. En la parte exterior media del tanque, hay una llave con tres conductos que comunican: uno al interior de la cuba con el aire exterior, otro el interior de la cuba con la tobera sobre la cual se coloca la probeta, y el tercero sin ninguna comunicación, se decir, que está totalmente aislado. El recipiente se comunica con un manómetro que indica la presión de agua.

Según hemos dicho, una vez obtenida la probeta correcta se coloca el cilindro que la contiene sobre la tobera por donde sale el aire. En este lugar hay un depósito de mercurio que sirve para ajustar perfectamente el cilindro. Al hacer funcionar el aparato la campana como antes se dijo, debe contener 2. ls. de aire, que son los que atravesarán la probeta, la cual es colocada con la base al apisonarla, invertida hacia arriba y quitándole la base metálica. Después, por medio de la llave se hace comunicar el aire contenido en la campana, con la tobera.

A partir de ésto se toma el tiempo que se necesita para hacer pasar el aire contenido por la campana, a través de la probeta de presión conocida. Con estos datos se calcula el volumen de aire que pasa por minuto bajo una presión de 1 g. por  $\text{cm}^2$  a través de la unidad de volumen de la arena en estudio, o sea un cubo de arena de 1 cm. por lado. El índice de permeabilidad se dá por la siguiente fórmula:

$$P = \frac{V.H.}{S.p.T}$$

en la que P— Permeabilidad.

V— Volumen.

H— Altura.

S— Sección transversal de la probeta, en cms. cuadr.

p— Presión de aire.

T— Tiempo.

Para acelerar las operaciones, la salida de aire se limita por medio de unas toberas de oro de sección conocida y constante siendo del metal indicado para seguridad de la constancia en la sección y mayor duración.

Después de colocar la probeta y la tobera así como el cilindro, se pone a funcionar el aparato y se toma la presión máxima, con cuyo dato se obtiene el índice de permeabilidad que señala directamente el cuadrante rotatorio de la máquina.

La sección del paso de aire en las toberas es de 1.5 mm. de diámetro en la grande y de 0.6 mm. en la pequeña. Si se usa la de pequeño diámetro, entonces se sabe directamente la permeabilidad al leer en la escala del cuadrante (de línea recta) la altura a que suba el nivel del agua en el manómetro. Si la tobera que se emplea es la de diámetro mayor, entonces la lectura que se haga en el cuadrante (graduación en línea curva) a la altura del nivel del agua en el manómetro, deberá multiplicarse por 10 para obtener la permeabilidad buscada.

Ejemplo: La lectura tomada con la tobera grande fué de 11, que multiplicada por 10 dá 110, o sea la permeabilidad buscada.

#### **f) Pruebas de resistencia.**

La arena debe tener una resistencia suficiente para soportar el ahorro y peso del metal fundido; por ello es necesario determinar su resistencia, o sea la cohesión entre sus partículas.

Esta prueba consiste en someter la probeta en la que se determinó la permeabilidad, sacándola del cilindro que sirvió de molde, a una carga gradualmente aumentada hasta obtener su ruptura. El aparato que se utiliza es automático y consta de las siguientes partes:

- 1.—Probeta de arena por determinar.
- 2.—Cuchilla.
- 3.—Depósito de municiones.

4.—Captador de municiones.

5.—Palanca obturadora de la salida de las municiones.

El aparato se nivela antes de colocar la probeta, después se coloca ésta, provista de dos superficies planas (discos de lámina de aluminio), en la superior se apoya diametralmente la cuchilla. Estos discos son para que la carga se reparta uniformemente en toda la probeta. Una vez colocada ésta, se pone a funcionar el aparato bastando con abrir la salida de las municiones, que inmediatamente se introducen en el captador, originando la carga que va aumentando gradualmente hasta provocar el momento máximo en que la probeta se rompe y la palanca cae, cerrándose automáticamente la salida de municiones y suspendiendo por lo tanto el aumento de carga.

Posteriormente se trasladan las municiones a una balanza y se pesan para calcular la resistencia en  $g. mm^2$ .

Ejemplo: El peso de la carga que rompió la probeta fué de 2402 g., que multiplicamos por 2 debido a que en el aparato que se empleó el brazo de palanca está en una proporción de 2:1, es decir, 2 del lado de la contracarga y 1 del de la carga. El producto 4804 g. se divide por la sección del cilindro (20.25) dándonos un cociente de 237.33 que es en  $g. mm^2$ . y que a su vez, dividido por 100, nos da un resultado de 2.37  $g. mm^2$ .

#### g) Análisis químico.

Este análisis se efectúa para determinar, tanto en la arcilla como en la arena, el contenido de sílice, alúmina, hierro, cal, magnesia, etc., pues sus proporciones afectan en gran parte las propiedades de la arena para moldeo.

La determinación de silicatos se hace en la forma siguiente:

Se pesan de 0.5 a 1 g. de muestra (arena o arcilla) muestreada y seca y se mezclan en crisol de platino o de níquel con una mezcla equimolecular de carbonato de sodio y de potasio en canti-

dad aproximada de 5 a 7 g. Se pone a fundir la mezcla aumentando gradualmente la temperatura hasta fusión tranquila, para que el desprendimiento del  $\text{CO}_2$  no sea brusco y proyecte la mezcla, con lo que se echaría a perder la determinación. Se prolonga esta temperatura de fusión por 30 a 60 min., tapando el crisol durante ella por las proyecciones que pueda haber. Después se traslada el crisol caliente dentro de un vaso grande tapado con vidrio de reloj, conteniendo unos 150 o 200 c.c. de agua, con lo que se logra la contracción rápida de la masa fundida, que se desprende con efervescencia de las paredes del crisol. Posteriormente se le agrega al vaso HCl conc. para el total desprendimiento de la mezcla; luego se lavan el crisol y la tapadera dentro del vaso. El contenido se evapora a sequedad en baño de arena o de maría, a una temperatura de 105 grados C.; cuando esté cerca de la sequedad, una vez seco se prolonga el calentamiento por 30 min. hasta que no dé olor a cloro. Luego se deja enfriar y se le agrega HCl conc. a que solamente empape toda la masa seca, y se pone nuevamente a sequedad; esta operación se repite dos o tres veces hasta estar seguros de que el  $\text{SiO}_2$  es insoluble. Después de seca por tercera vez, se agregan 20 c.c. de HCl conc., calentándolo por 10 min. Viene en seguida la adición de 100 c.c. de agua, se lleva a ebullición y se filtra a través de papel No. 0, lavando primero con  $\text{CH}_2$  diluido y después con agua caliente. Luego se calcina el precipitado hasta color blanco; dejándose enfriar en el desecador; se pesa, y con este dato se calcula el porcentaje de  $\text{SiO}_2$ .

En el líquido filtrado de la separación con la  $\text{SiO}_2$  se determinarán los demás componentes del silicato. Se trata la solución con cloruro de amonio y se calienta a 70 grados C. después de ponerle unas gotas de ácido nítrico para asegurarse de la total transformación de las sales ferrosas a férricas, se precipita con hidróxido de amonio en ligero exceso y se filtra, lavando con agua caliente, separándose así el hidróxido férrico y la alúmina.

Estos precipitados se tratan con HCl en un vaso, hasta total disolución. Con esta solución, que debe ser por duplicado, se investigarán respectivamente el hierro y el aluminio. Para la deter-

minación del Fe se puede seguir el método por el bicromato de potasio o con permanganato de potasio.

La primera consiste en tratar la solución de cloruro férrico, en caliente, con una sol. de cloruro estanoso recién preparado hasta completa decoloración, lo que indica el paso de las sales férricas a ferrosas; se enfría, se diluye con agua y se agregan 20 c.c. de sol. saturada de cloruro de mercurio, titulándose con sol. valorada de bicromato de potasio, indicador externo una sol. diluída de ferricianuro de potasio recién preparada (1 g. de sal por 10 c.c. de agua). El porcentaje de Fe se calcula por el número de c.c. empleados en la titulación.

La alúmina se determina por el método del fosfato; se trata la sol. del duplicado con hidróxido de amonio, hasta obtener color moreno sin precipitado; en estas condiciones se ponen 4 c.c. de HCl y 2 g. de fosfato de sodio en solución, agitando hasta que se redisuelva el precipitado que se forme (si es que se forma alguno) se añaden 10 g. de tiosulfato de sodio disuelto en agua y 15 c.c. de ácido acético. Se hierve por 30 min., y se filtra rápidamente y se lava con agua caliente. Se calcina y se pesa en frío como  $AlPO_4$  y se multiplica el resultado por el factor 0.4185, para obtener el  $Al_2O_3$ .

Del líquido filtrado de la separación del fierro y la alúmina, se precipita el calcio como oxalato. Se trata la sol. con cloruro de amonio, se lleva a ebullición y se precipita con sol. de oxalato de amonio, después se deja reposar el precipitado por 12 hs. y se filtra, lavando con agua caliente conteniendo oxalato de amonio. Este precipitado se disuelve en un vaso con 5 o 7 c.c. de ácido sulfúrico y 150 c.c. de agua, calentándose después a 70 grados C. y se titula con sol. valorada de permanganato de potasio, para obtener con este dato el porcentaje de cal.

Por último, se analiza la cantidad de magnesio. Del filtrado de la separación del calcio, que está ácido, se trata el líquido con cloruro de amonio y después con exceso de fosfato de sodio, se lleva a ebullición y se agregan gotas de fenolftaleína, se le pone hi-

dróxido de amonio al 10% hasta color rojo permanente, después se le agrega más amoniaco hasta  $\frac{1}{3}$  de su volumen, precipitándose el fosfato doble de amonio y magnesio; se deja reposar por 12 hs., se filtra, se lava con amoníaco diluído, se seca y se calcina hasta color blanco y se pesa. En la calcinación se transforma el fosfato en pirofosfato de magnesio.

Una vez conocidas las determinaciones tanto físicas como químicas, se pueden controlar perfectamente las arenas fijándoles límites. En cuanto al análisis químico, los límites son:

Cal . . . . .	menos de 2.5%
Magnesia . . . . .	menos de 1.0%
Oxido férrico . . . . .	5% máximo.

Puesto que de éstos depende que en los silicatos la cal y magnesia obren como fundentes en las arenas, impidiendo la resistencia a las altas temperaturas del metal fundido, en aceros y hierros.

## CAPITULO VI

### MOLDEO DE LAS BOMBAS DE MORTERO

Para este trabajo se necesita tener un equipo de cajas de hierro colado, de poco peso para poderlas maniobrar y hacerlo fácil al personal.

Las medidas de estas cajas de moldeo, con capacidad para dos granadas, deben ser las siguientes:

Longitud . . . . .	330 mm.
Profundidad . . . . .	275 mm.
Altura . . . . .	240 mm.
Espesor de paredes . . . . .	8 mm.
Diámetro de coladas . . . . .	48 mm.
Diámetro de tiraderos . . . . .	28 mm.

La caja en sí tiene un peso de 26 kgs.

Estas cajas son de forma cúbica y están divididas en su eje mayor en corte transversal; cada una de las mitades carece de fondo y se hacen coincidir mediante espigas que penetran en unas orejas de la mitad contraria y colocadas opuestamente en las caras laterales; cada mitad tiene, a su vez, orejas libres y opuestas para poder ser levantadas o desconectadas una de otra.

El moldeo se hace con granadas patrón o modelos que bien pueden ser de madera o de aluminio, este último caso cuando se trate de producción en gran escala; las características del mode-

lo son estudiadas previamente por lo que respecta a su colocación en la caja de moldeo para facilitar la colada. Al modelo se le dan dimensiones mayores y a las cajas de corazón dimensiones menores; en nuestro caso particular esta diferencia es generalmente de 1.0—1.5% en más o en menos, atendiendo a las contracciones que sufre el metal al enfriarse.

Para moldear se emplea una arena común de río, amarilla cuarzosa, a la que se adiciona melaza y grafito en polvo, procurando hacer la mezcla lo más uniforme posible; luego se le humedece con agua hasta que tenga la plasticidad conveniente para que las partículas redondeadas se aglutinen y así se mantengan, conservando la figura de la pieza que se desea fundir.

Después de hecha la mezcla se procede a cernirla para que se puedan obtener partículas pequeñas que se aglutinen fácilmente mediante la humedad que mantiene ésta, cierta plasticidad la cual se la da la melaza, que es una solución muy viscosa de piloncillo, semejante al petróleo crudo.

En el caso particular del moldeo de las bombas de mortero, es necesario emplear una cama de yeso impermeabilizado, con las que se moldea la mitad de cada pieza por razón de que la forma de la bomba es, geoméricamente, compuesta, consistiendo en una semiesfera y un cono truncado unidos por su base; como además son huecas y estriadas interiormente, es necesario moldearlas por mitades para dejar huecos en los que se colocarán los corazones.

Una vez hechas estas camas, consisten en mitades moldeadas para facilitar el trabajo, porque sin ésto en cada caja moldeada se tendría que hacer una cama falsa y colocar las piezas por mitad en su eje mayor, trabajo tedioso y tardado.

Se asienta la cama de yeso con los modelos en el piso, y sobre la cama se coloca una mitad de la caja de moldeo descansando sobre un cajón de madera que protege la cama de yeso; dentro se pone la arena cernida y se aprieta ligeramente, poniendo más

capas de arena apisonando hasta llegar al nivel superior de la caja de hierro; una vez apisonada convenientemente según el caso, es decir, que se trate de fundición gris, blanca, acerada o acero, pues en cada caso es diferente el apriete de las arenas de moldeo, se hacen perforaciones a través de toda la arena moldeada, desde la parte exterior hasta el modelo, por medio de alambre de más o menos 2 mm. de diámetro. Estas perforaciones tienen por objeto facilitar la rápida salida de los gases producidos al vaciar el metal y los que éste lleva a la caja moldeada, para evitar las oclusiones de estos gases en el mismo. Como según ya se dijo, las bombas de mortero son huecas y estriadas interiormente, se hace necesario el empleo de corazones, que generalmente son de arena cuarzosa aglutinada con aceite de linaza y harina de trigo y la cantidad de agua necesaria para proporcionar la humedad y plasticidad, que en este caso debe ser mayor.

Estos corazones se hacen en modelos de aluminio, reforzados interiormente con alambre de hierro y en dos partes; se ponen a secar y cocer en estufas y luego se pegan las mitades con engrudo crudo y finalmente se rellenan los bordes de las mitades con una mezcla de grafito y agua, de consistencia pastosa.

Terminados los corazones, se colocan en los huecos que les corresponden en las cajas moldeadas, procurando centrarlos bien; luego se cierran las cajas y se aseguran, colocando el orificio de colada hacia arriba y los tiraderos también. Las cajas se ponen en serie, separadas a la distancia conveniente para facilitar la maniobra del vaciado.

Una vez llenos de metal fundido todas las cajas, se comienza a desmoldear empezando por las que se vaciaron primero, pero siempre se deben dejar reposar un cierto lapso de tiempo, con el objeto de que las piezas no reciban un cambio brusco de temperatura, originando torceduras y cambios metalográficos.

Desmoldeadas todas las cajas, se prepara la arena para las coladas subsiguientes, ya sin agregar grafito ni melaza, sino simplemente cernida, traspaleada y humedecida convenientemente.

Las piezas vaciadas y enfriadas a la intemperie, se separan de sus coladas y se sujetan a un tratamiento de separación de la arena impregnada superficialmente, por medio de balines que giran en el interior de un cilindro (globeador); finalmente son esmeriladas y examinadas a vista para rechazar las defectuosas por poros, descentradas, agrietadas, etc., pasando posteriormente a los talleres destinados a su maquinado, terminación y armado.

## CONCLUSIONES

Los análisis y pruebas mecánicas de esta fundición dieron los siguientes resultados:

### ANÁLISIS QUÍMICO

Muestra núm.	C%	Si%	P%	Mn%	S%
1 . . . . .	3.20	2.367	.286	.620	0.021
2 . . . . .	3.20	2.492	.305	.660	0.024
3 . . . . .	2.98	2.290	.139	.770	0.026
4 . . . . .	3.25	2.178	.261	.673	0.020

### PRUEBAS MECANICAS

Muestra núm.	Resistencia a la traccn. kg. mm <sup>2</sup>	Dureza Rockwell Escala B
1 . . . . .	21.01	94—96
2 . . . . .	15.08	92—95
3 . . . . .	26.70	98—100
4 . . . . .	22.00	96—98

Por los datos anteriores, puede verse que promediando el análisis químico y los resultados de las pruebas mecánicas, las piezas fundidas quedaron dentro de los límites siguientes:

#### Análisis Característico:

C	—3.00—3.25%
Si	—1.60—2.00%
P	—0.085% max
Mn	—0.60—0.85%
S	—0.080% max

#### Análisis Promedio:

C	3.157%
Si	2.331%
P	0.247%
Mn	0.680%
S	0.022%

#### Pruebas mecánicas:

Resist. a la tracción: 25 k. mm <sup>2</sup> min.	21.1975
Dureza Rockwell, esc. B: 92—105.	95—97.25

De donde se deduce que la fundición fué buena en general, variando únicamente en el porcentaje de fósforo y silicio en todos, y en el 3ro. el carbono, pero con muy poco margen.

En cuanto a las pruebas mecánicas, la tercera fué la mejor y la primera y la cuarta están muy cerca de las características correctas. Todas las durezas estuvieron dentro de los límites fijados.

Todos estos trabajos se efectuaron en la fundición con resultados favorables, con lo que se comprueba que hubo buen control en su funcionamiento general.

En conclusión, hemos aprendido por la práctica que para esta clase de trabajo el esfuerzo y la continuidad son indispensables para obtener los mejores resultados.



# INDICE

## PRIMERA PARTE.

CAPITULO	I.— Introducción . . . . .	23
"	II.— Descripción del Horno de Cubilote ..	25
"	III.— Lo que es la fundición acerada con sus características químicas y metalográficas . . . . .	29
"	IV.— a) Uso del horno en la fabricación de la fundición acerada . . . . .	32
	b) Reacciones químicas que se verifican en este proceso . . . . .	42

## SEGUNDA PARTE.

CAPITULO	V.—Control Técnico y Químico de esta fundición . . . . .	45
"	VI.— Moldeo de las bombas de Mortero para esta fundición . . . . .	64
"	VIII.— Conclusiones . . . . .	68

