

12  
21

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES**  
**CUAUTITLAN**

**ESTUDIO DE LA FUNDICIÓN GRIS EN UN HORNO DE CUBILOTE EN  
TIZAYUCA HIDALGO, DE 1.5 TONELADAS DE CAPACIDAD POR  
HORA.**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA.**

**PRESENTA:**

**ARNULFO ALVARADO VARGAS**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**I.M.E. SAMUEL PÉREZ DÍAZ**

**CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 1997.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR

DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES-CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DEPARTAMENTO DE  
EXÁMENES PROFESIONALES

ATN: Ing. Rafael Rodríguez Cubillas  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, se  
permite comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

Estudio de la Fundición Gris en un Horno de Cubilote en Tizayuca Hidalgo.

de 1.5 Toneladas de Capacidad por Hora.

que presenta el pasante: Arnulfo Alvarado Vayas

con número de cuentas: 7805112-2 para obtener el TÍTULO de:

Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para  
ser discutida en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos  
nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Mex., a 03 de Marzo de 1997

PRESIDENTE

Ing. Samuel Pérez Díaz

VOCAL

Ing. Ma. Soledad Alvarado Martínez

SECRETARIO

Ing. Enrique Cortés González

PRIMER SUPLENTE

Ing. Jesús García Lira

SEGUNDO SUPLENTE

Ing. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez

*Reed*  
*[Firma]*  
*[Firma]*  
*[Firma]*

**PRESIDENTE: I.M.E. SAMUEL PÉREZ DÍAZ**

**VOCAL: I.Q. MARÍA SOLEDAD ALVARADO MARTÍNEZ.**

**SECRETARIO: I.M.E. ENRIQUE CORTES GONZÁLEZ.**

**PRIMER SUPLENTE: I.M.E. JESÚS GRACIA LIRA.**

**SEGUNDO SUPLENTE: I.M.E. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO  
RODRÍGUEZ**

**A MI DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. SAMUEL PÉREZ DÍAZ.  
POR SU VALIOSA AYUDA Y PACIENCIA.**

**A NUESTROS PROFESORES:**

**A TODOS ELLOS GRACIAS Y EN ESPECIAL AL  
ING. ENRIQUE CORTES GONZÁLEZ.  
POR SU VALIOSOS CONSEJOS Y APOYO.**

**AL SR. MANUEL ISLAS**

**POR TODA SU AYUDA TAN AMABLEMENTE FACILITADA Y SOBRE TODO  
POR SU DISPONIBILIDAD PARA LLEVAR A FELIZ TERMINO LA  
REALIZACIÓN DE ESTA TESIS. MUCHAS GRACIAS.**

**A LA COMPAÑÍA TECNO MANUFACTURAS RAKWE S.A. DE C.V. Y A  
TODO SU PERSONAL POR TODA LA COOPERACIÓN, QUE TAN  
AMABLEMENTE ME BRINDARON PARA LA REALIZACIÓN DE ESTA  
TESIS.**

**AGRADEZCO PRIMERO A DIOS POR TODAS SUS BONDADES PARA MI Y TODOS MIS SERES QUERIDOS.**

**A MIS PADRES: MARIO ALVARADO MORA**

**ISABEL VARGAS GRANDE**

**POR SU APOYO MORAL, COMPRENSIÓN, PACIENCIA Y GRAN AMOR.**

**A MIS HERMANOS:**

**ALFREDO**

**REYNALDO**

**ROMAN·**

**JORGE**

**JUAN A. (+)**

**ESTELA**

**LETICIA**

**A MIS TÍOS Y AMIGOS :**

**POR SU INVALUABLE AYUDA Y APOYO SINCERO.**

**FINALMENTE Y EN ESPECIAL:**

**A MI BRAZO DERECHO, MI APOYO, MI COMPAÑERA, MI ESPOSA VICKY, ASÍ COMO A TODA SU FAMILIA GRACIAS.**

## ÍNDICE

	PAGINA
PROLOGO	
INTRODUCCIÓN	
CAPITULO I	1
GENERALIDADES.	2
I.1. CUBILOTES.	4
I.2. FUNDICIÓN GRIS.	48
I.3. MOLDES PARA VACIADO.	59
I.4. PROPIEDADES MECÁNICAS Y APLICACIONES DEL HIERRO GRIS.	70
CAPITULO II	77
CONSTITUCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE UN HORNO DE CUBILOTE DE 1.5 TONELADAS DE CAPACIDAD POR HORA.	78
II.1. DIMENSIONES.	92
II.2. FUNCIONAMIENTO DEL CUBILOTE.	93
CAPITULO III	94
FABRICACIÓN DE MOLDES PARA VACIADO.	95
III. 1. PREPARACIÓN DE ARENAS.	95
III. 2. PROCESO DE FABRICACIÓN DE MOLDES.	98
III. 3. PROCESO PARA FABRICACIÓN DE CORAZONES. (PROCESO SHELL).	109
CONCLUSIONES.	116
BIBLIOGRAFÍA.	119

## PROLOGO

**El presente trabajo de investigación consiste en el estudio de la fundición gris en un horno de cubilote de 1.5 toneladas de capacidad por hora, en la compañía Tecno-Manufacturas Rakwe S.A. de C.V. ubicada en Tizayuca Hgo.**

**Este estudio permite tener un enfoque claro del proceso de fundición gris bajo condiciones bien definidas, lo cuales nos permitirá evaluar y obtener características esenciales de la fundición gris de acuerdo a los parámetros establecidos.**

**Se proporcionaran los antecedentes del horno de cubilote, la fundición gris, las propiedades mecánicas y aplicaciones del hierro gris. (Las características de la fundición gris en base al estado en que se encuentre el carbono en la fundición, el proceso de grafitización, los diferentes tipos de aleación y los tratamientos térmicos aplicados para la supresión de las tensiones internas).**

**También mencionaremos la constitución y funcionamiento del horno de Cubilote de 1.5 toneladas, además la forma de la preparación de arenas así como el proceso de fabricación de moldes y corazones.**

**Por último consideraremos algunas tablas de los tiempos de carga de carbon-chatarra-sangrado, de un proceso completo de fusión realizado en este tipo de Horno, para tener una visión más amplia de los factores que debemos cuidar para tener un buen funcionamiento y una máxima eficiencia del horno de cubilote.**

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo quiero mencionar los factores que debemos cuidar en el proceso de fundición completo que aparentemente sencillo requiere de ciertas condiciones que deben de tomarse en cuenta para obtener piezas de fundición gris con las características establecidas. Siendo un proceso de fundición que da a la industria una de las alternativas de producción a un precio relativamente bajo con sistemas simples de operación.

En el capítulo I, se hablará de las generalidades del horno de cubilote convencional, de las cualidades, propiedades y aplicaciones de la fundición gris.

Así mismo, se mencionan las partes más importantes de un horno de cubilote convencional y la forma de operación.

En el capítulo II, se hablará de la fundición gris en un Horno de Cubilote de 1.5 toneladas de capacidad por hora, mencionando las partes que componen este horno así como sus dimensiones y funcionamiento real del mismo.

En el capítulo III, hablaremos de la fabricación de moldes para vaciado, desde la preparación de arenas, además el proceso "Shell" para fabricación de corazones.

Por último mencionaremos los problemas y sus soluciones, así como los parámetros a controlar para realizar un proceso eficiente y la conclusiones de este trabajo, así como las referencias en que basamos la realización de esta tesis.

**CAPITULO I**

**GENERALIDADES**

## GENERALIDADES.

Las fundiciones son aleaciones de hierro - carbono y silicio, que generalmente contienen también manganeso, fósforo y azufre.

Son de mayor contenido en carbono que en los aceros (2 a 4.5%) y adquieren su forma definitiva directamente por colada, no siendo nunca las fundiciones sometidas a procesos de deformación plástica ni en frío ni en caliente.

En general no son dúctiles ni maleables y no pueden forjarse ni laminarse y a causa de su fluidez, baja contracción, resistencia, rigidez y facilidad de control es el más indicado para colar.

En las fundiciones grises, aparecen láminas de grafito durante la solidificación y posterior enfriamiento, que al originar discontinuidades en la matriz, son la causa de que las características mecánicas de la fundición gris sean en general muy inferiores a las de los aceros, sin embargo las características de la fundición gris son suficientes para muchísimas aplicaciones.

Para la fabricación de piezas de fundición, se utiliza como materia prima principalmente arrabio o lingote de hierro y además se utilizan en las cargas de los hornos de cubilote, chatarra de fundición y muchas veces se emplean cantidades variables de chatarra de acero.

Teóricamente las fundiciones pueden contener de acuerdo con el diagrama hierro - carbono de 1.7 a 6.67% de carbono, sin embargo, en la practica es de 2 a 4.5%, siendo lo más frecuente que oscile de 2.7 a 3.5%.

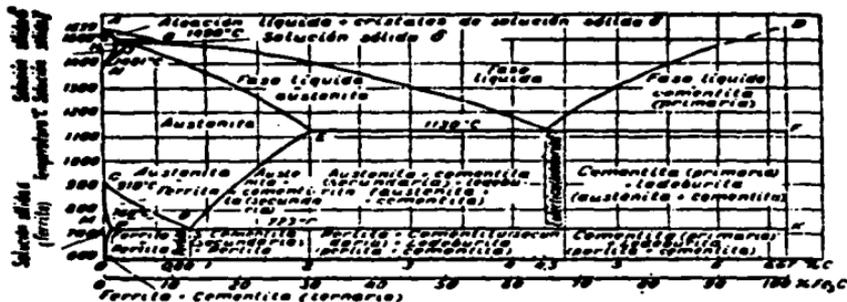


Figura 1. Diagrama de estado hierro - carbono.

El contenido de silicio es de 0.5 a 3.5 % y el manganeso de 0.4 a 2%.

En algunas ocasiones los contenidos de silicio y manganeso llegan al 4% y se llegan a fabricar fundiciones especiales hasta de 15% de silicio.

Los porcentajes de azufre es de 0.01 a 0.2%, los de fósforo de 0.040 a 0.8% y en algunos casos llegan al 1.5%.

**Para conseguir ciertas características especiales se fabrican fundiciones aleadas, que además de los elementos citados, contienen también porcentajes variables de cobre, níquel, cromo y molibdeno.**

## **I.1. CUBILOTES.**

**Al horno lo podemos definir como el aparato que genera calor, con el fin de caldear una materia que se introduce en su interior y que ha de sufrir algunas transformaciones físicas o químicas. Esta es una de las tantas definiciones que existen al respecto.**

**Los hornos desempeñan un papel muy importante en la industria, pues la mayoría de las reacciones químicas que efectúan en los principales procesos industriales se desarrollan con absorción de calor. La fuente suministradora de energía calorífica es el calor desprendido en la oxidación de un combustible o en la circulación de una corriente eléctrica a través de resistencias o de la masa que debe calentarse.**

**Por lo que según sea la fuente de suministro de calor y el procedimiento de su aplicación, los hornos pueden clasificarse en las siguientes cuatro categorías, siguiendo su importancia dentro de lo comercial e industrial.**

- I. Hornos de combustión.**
- II. Hornos eléctricos.**
- III. Hornos nucleares.**
- IV. Hornos solares.**

**I. Dentro de los hornos de combustión encontramos a los siguientes:**

- a) Hornos de calentamiento directo; por ejemplo: el alto horno y el horno de cubilote.**

- b) Hornos de calentamiento indirecto; a este grupo pertenecen los hornos de reverbero y los hornos Martín Siemens.**
- c) Hornos de mufla o de cámara; a este grupo pertenecen los hornos de crisol.**

**II. Dentro de los hornos eléctricos encontramos:**

- a) Hornos de resistencia; los cuales pueden clasificarse en:**
  - i) Hornos de crisol fijo u oscilantes, análogos a los de crisol.**
  - ii) Hornos de reverbero.**
- b) Hornos de arco; en los cuales se pueden distinguir los siguientes tipos:**
  - i) Hornos de arco indirecto; parecidos a los hornos rotativos de reverbero, ideados por el italiano Stassano.**
  - ii) Hornos de arco directo; son los más usados en la fundición, estos hornos fueron ideados por Heroult.**
- c) Hornos de inducción; de acuerdo a la frecuencia de la corriente se pueden distinguir dos tipos de hornos:**
  - i) Hornos de inducción para baja frecuencia, se basan en el principio de los transformadores.**

**III. Dentro de los hornos nucleares, podemos decir que el funcionamiento de estos están basados en el calor desprendido en el proceso de fundición y fusión del átomo, es decir en la desintegración nuclear de los elementos pesados (uranio y plutonio), por el bombardeo de neutrones. Los hornos nucleares son de constitución muy parecida a la de los reactores nucleares, desarrollándose la fusión en forma de reacción en cadena, de modo que una vez iniciado el proceso por medio de una fuente exterior de neutrones, se mantiene indefinidamente a causa de los neutrones que se producen durante la fusión.**

La cantidad de energía desprendida de los hornos nucleares, es definida por la equivalencia entre la energía y la masa y su recíproca convertibilidad, según se deduce de la teoría de la relatividad de Einstein, expresada por la fórmula:

$$E = m c^2$$

Los hornos nucleares están poco extendidos en la actualidad debido a su elevadísimo costo de instalación, aunque es de esperarse su paulatina implantación en un futuro próximo.

IV. Los hornos solares, podemos decir que están constituidos por un conjunto de superficies metálicas o de vidrio que reflejan los rayos solares y concentran el calor en un punto (foco), o línea imaginaria (línea focal).

Los hornos solares permiten alcanzar temperaturas hasta 6, 000° C, que se utilizan con fines experimentales como es la resistencia de metales al calor, fusión de metales, etc. Estos hornos sólo se han construido en Egipto, China, Estados Unidos y Francia. Cada tipo de horno se utiliza en determinadas técnicas según sus peculiares características de funcionamiento y rendimiento

El horno más usado en la fundición de hierro colado es de cubilote, u horno de manga ó cúpula. Es también el más antiguo de los hornos para la refusión del hierro colado, ya que se emplea desde hace siglos, si bien el progreso y la experiencia han sugerido muchas modificaciones que han cambiado el aspecto de los cubilotes modernos con respecto a los antiguos. Sin embargo los principios en que se basa su funcionamiento continúan siendo los mismos.

El cubilote es un horno que funciona con combustible sólido y en el cual la carga metálica, el combustible y el comburente están en íntimo contacto entre sí.( ver fig.1a). Esto permite un intercambio técnico directo y activo y por lo tanto un rendimiento elevado. Sin embargo, y por causa de este mismo contacto entre el metal, las cenizas y el oxígeno del hierro colado producido no puede ser rigurosamente controlado desde el punto de vista metalúrgico.

En el año 1300, el italiano Vannoccio Biringuccio de Siena, describe un horno de "Cubo" utilizado en aquella época y que pueda considerarse como el precursor del cubilote moderno. (Ver figura 1b.).

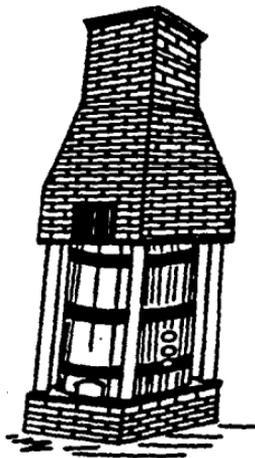


Figura 1b. Se muestra un cubilote antiguo del tipo de Tonel.



Fig. 1a. La carga mecánica, el combustible y el comburente están en íntimo contacto entre sí.

El cubilote moderno está comúnmente asociado con el nombre de John Wilkinson, que fue dos siglos más tarde que el italiano Biringuccio, mostraba la patente del diseño de un horno muy parecido al cubilote actual (ver figura 2).

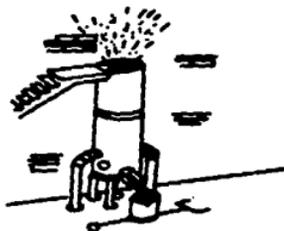


Figura 2. Cubilote Wilkinson

El cubilote está constituido por las siguientes principales partes:

#### Cimentación.

La cimentación debe ser conveniente para el diámetro del cubilote y el peso total de la carga. La profundidad dependerá de las condiciones del suelo, mediante un estudio apropiado. La parte superior de la cimentación deberá quedar unos 15 cms. abajo del nivel del piso de la fundición, de manera que se pueda llenar con arena u otro material aislante del calor, para protección de la zapata de concreto.



Está formada por una placa de acero o chapa de hierro, rodada en forma de secciones cilíndricas remachadas, atornilladas o soldadas unas con otras, con juntas de traslape hacia abajo para protección contra el clima, de tal manera que proporcione una protección contra la salpicadura del agua de lluvia entre el revestimiento refractario y la coraza.

La parte baja o cuerpo está constituida para soportar el peso de toda la carga. En el interior de la coraza se encuentran soldados o atornillados unos segmentos en forma de repisa para soportar y mantener en posición el revestimiento.

Sirve también para tener mayor tiro natural en la abertura de la carga o para permitir la combustión completa de los gases.

### Crisol.

En el crisol del cubilote la temperatura es más baja que en la zona de toberas, y el refractario está solamente en contacto con el hierro fundido, la escoria y el coque relativamente estático, de manera que los efectos de la temperatura y la abrasión producida por el aire soplado y los materiales de carga no son tan serios como en la zona de fusión.

El crisol tiene la función de contener en su interior el hierro líquido y mantener la temperatura de fusión. Se encuentra equipado con pico para la escoria y sangrado, está por abajo del nivel de las toberas.

La capacidad de retención del crisol está basada en la decisión de que el 46% del espacio disponible en el crisol sea ocupado por hierro fundido. Las toberas se colocan lo suficientemente altas como para proporcionar una amplia capacidad en el crisol.

También el orificio de escoriado estará a una altura adecuada, para que la escoria no sea obligada a subir hasta las zonas de congelamiento inmediatamente adyacentes a las toberas. Deberá llevar en la parte inferior un lecho de arena seca para permitir las dilataciones del crisol.

#### Picos de sangría y escoriado.

La parte del cubilote donde se encuentra el crisol está equipado con picos o canales para la escoria y el sangrado. Puede tener una disposición sencilla de los picos para sangrado intermitente y escoriado por la parte posterior. Estos orificios están localizados generalmente a 180° uno del otro, aunque la distancia entre ellos puede ser, sobre la circunferencia de la coraza, cualquier distancia conveniente y práctica; también para sangrado continuo puede conseguirse también por medio de un canal de escoriado frontal. (Ver figura 3).

#### Caja de vientos.

La caja de vientos esta soldada fuertemente a la sección del cuerpo para eliminar fugas de aire. La parte superior es cónica para evitar la acumulación de las cenizas el cubilote y así mismo la corrosión.

Al diseño de la caja de vientos se le incorpora una conexión para el ducto de aire, la que se localiza cerca de la parte superior. Puede ser una tangencial, radial o doble. Si los ductos del soplado son sencillos en su diseño, cuando ocurra una falla será fácil y poco costoso su remplazo. El nivel del fondo de la caja de vientos está arriba del de las toberas para evitar la acumulación de hierro y escoria. Este nivel también conviene para instalar portillas para encendido de la cama por medio de mecheros, toberas para encendido y picos para la escoria y sangrado.

Las cajas para las toberas o codos conectan la cámara de la caja de vientos con las aberturas de la coraza (toberas). Los codos están convenientemente equipados con orificios para la mano, mirillas y dispositivos de cierre.

#### Ducto de aire.

El ducto de aire es la conexión del soplador y la cámara de aire, el cual impulsa al comburente dentro del cubilote, realizando la combustión del coque.

La selección del equipo apropiado para suministrar el "soplo" de aire a un cubilote de fundición es de la mayor importancia. (Fig. 4).

"No obstante, si se piensa que el peso del aire necesario en la operación del cubilote es del mismo orden que el peso de las cargas del hierro, es aparente que debe dársele una muy cuidadosa consideración, no solo a la cantidad de aire, sino también a los medios de entrega al cubilote y al método de controlar su abastecimiento".

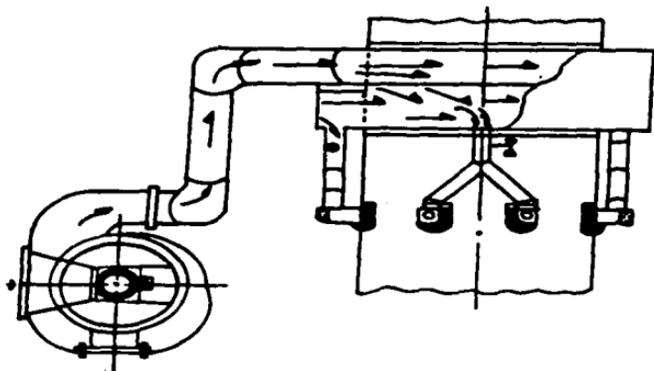
Además, al hacer el análisis deberán tenerse en cuenta los siguientes factores:

#### Factores que determinan el volumen y presión del aire.

- 1) Tipo y tamaño del cubilote.
- 2) Régimen de fusión (normal y máximo).
- 3) Relación del hierro al coque en las cargas.
- 4) Tipo de hierro deseado.
- 5) Temperatura del hierro en el pico.
- 6) Altura de la cama de coque y de las cargas arriba de las toberas.
- 7) Tamaño y calidad del coque.

También existen otros factores que definen el tipo de equipo o máquina soplante para una buena selección:

- 1) Volumen y presión máximos para condiciones de fusión máxima.
- 2) Costo inicial y de operación.
- 3) Localización del soplador con referencia al cubilote.
- 4) Temperatura máxima del aire a la entrada del soplador.
- 5) Método de impulsión.
- 6) Altitud de la instalación.



**Figura 4. Equipo convencional de un horno de cubilote con cámara de vientos con aire equilibrado y toberas dobles.**

Si bien el equipo de sople se menciona, se hace referencia con el ducto de aire, es que estos deben ser integrados de tal manera que se obtenga una penetración satisfactoria a la entrada del cubilote.

“Es conveniente que la tubería del aire sea recta, de sección redonda, doble de la sección expelente del fuelle, y que entre tangencialmente en la cámara de aire”.

Además de que la cámara de aire cuenta con toberas, en muchos cubilotes se instalan portillas, mirillas, etc. Los cuales nos ayudan a observar el funcionamiento interior del horno.

Las mirillas no deben permitir pérdidas de wazzu aire, sin embargo se acondicionan de una manera tal que puedan abrirse en caso de que las toberas queden obstruidas a causa de la escoria (Fig. 5), que enfriada por la corriente de aire se deposita enfrente de ellas, en este caso se les libera de la suciedad por medio de una barra que se introduce en éstas, hasta que queden brillantes y luminosas.

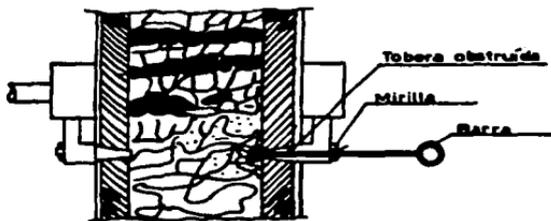


Figura 5. Encoronamiento debido a la escoria, obstruyendo la tobera derecha.

## Toberas.

El aire penetra al horno a través de un sistema de ductos por medio de un equipo de soplado, este sistema es llamado de Toberas, se encuentran por lo regular en la parte superior del crisol formando un círculo. El cubilote convencional deberá tener un sistema de toberas lo suficientemente grande para proporcionar un paso fácil del aire de combustión a la cama de coque. (Fig. 6).

“La relación de toberas, es la relación que existe al sumar el área transversal de las toberas”. Pueden ser redondas, cuadradas, rectangulares y del tipo de caja individual o continua. Actualmente se prefiere colocar las toberas en un mismo plano, excepto en los grandes cubilotes, en los cuales se colocan en dos capas vecinas, alternadas verticalmente.

Su número varía de 2 para los cubilotes más pequeños, a 4, 6, y hasta 12 para los grandes cubilotes. Las toberas se colocan ligeramente inclinadas hacia el interior del cubilote para evitar que las invadan las escorias o el metal líquido.



Figura 6. Tobera rectangular normal para cubilote.

Las toberas más sencillas, con una operación correcta, darán mejores resultados, y es por esta razón que la mayoría de los cubilotes cuentan con toberas de diseño sencillo. El de las toberas está previsto de una placa que se funde totalmente en caso de que la escoria llegue a un nivel peligroso.

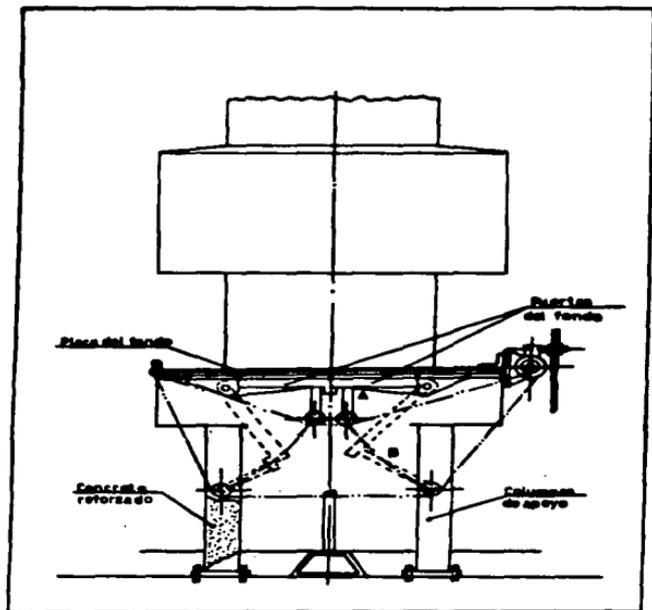
### Placas del fondo.

La placa del fondo es de acero grueso, con una abertura circular en el centro, de manera que concuerde con las puertas del fondo y las dimensiones del revestimiento refractario.

La placa está reforzada con viguetas pesadas, ángulo y placas esquineras de ensamble y otros ángulos con bisagras para el sostén de las puertas del fondo. (Fig. 7).

### Puertas del fondo.

Las puertas del fondo son de forma semicircular, por lo regular, pero también pueden ser rectangulares o cuadradas según el tamaño y la forma del cubilote, está hechas de hierro fundido y con gruesas costillas, perforadas para permitir la salida de gases. Una de las puertas tiene un borde que forma un soporte para la puerta continua cuando ambas están apuntadas en la posición de operación. Los puntales de las puertas deberán ser barras sólidas de acero, o una combinación de dos puntales con dispositivos de tornillos y un puntal formado por una barra sólida. Este tipo de puertas tienen como objetivo la limpieza del crisol y mantenimiento del interior cuando el cubilote no esté en servicio. (Fig. 7).



**Figura 7. Esquema del malacate para las puertas del fondo en hornos convencionales;  
A (Puertas cerradas). B (Puertas abiertas).**

### Puerta de carga.

El cubilote convencional esta provisto de una abertura para la admisión de la carga. En los cubilotes cargados a mano, esta aberturas están relativamente bajas, para concordar con los pisos de carga existentes. Para carga a mano puede haber una o más de estas aberturas, y solo lo suficientemente grandes como para permitir la introducción de los materiales de carga. En cubilotes pequeños la carga se realiza por la parte superior del cubilote como en el de Wilkinson, (Fig. 2).

### Capuchón del techo.

Se encuentran en la parte superior de la torre. Está reforzada con un anillo de ángulo de hierro, remachado contra la coraza de tal manera que proporcione una protección contra la lluvia, (Fig. 3).

### Supresor de chispas.

El cubilote convencional está también equipado con un supresor de chispas, un dispositivo de doble cono, formado de placa de acero grueso y perforada, soportado por patas de hierro colado. Este supresor es un equipo de prevención de incendios a causa de las chispas que salen del cubilote, pero no evita que las brasas y las cenizas se acumulen en los techos adyacentes, ni elimina ninguna condición indeseable de los gases de escape.

### Columnas o patas de apoyo.

“Las patas de cubilote están hechas a modo de columnas de acero, y deben ser rellenadas con concreto reforzado. Estas patas están atornilladas al lado de abajo de las gruesas viguetas de las estructura de la base.

Las patas del cubilote varían en altura de acuerdo con las necesidades locales, pero la altura mínima deberá permitir el libre juego de las puertas del fondo, y la facilidad de retirar la descarga del cubilote". (Fig. 7).

#### Revestimiento refractario.

La coraza debe estar convenientemente revestida internamente con cierto espesor de material refractario. Puesto que la principal función de estos materiales refractarios es la de resistir altas temperaturas, también deberán resistir altas influencias como la abrasión, la presión, ataque químico y cambios rápidos de temperatura, por lo que se deja una capa intermedia entre el refractario y la envoltura, de unos 2 cms. aproximadamente, rellena de arena seca para permitir las dilataciones radiales y axiales del refractario. La selección e instalación de estos refractarios es, por lo tanto, una consideración muy importante.

El revestimiento constituye al horno en sí, y la coraza de acero simplemente cumple las funciones de mantenerlo en su lugar. El revestimiento se forma con bloques de formas especiales para cubilotes, para formar el diámetro deseado, no puede descuidarse el que cada bloque debe ser colocado tan justo como sea posible del siguiente, por que las juntas son las más vulnerables.

Los materiales más comunes empleados para el revestimiento original del cubilote, son ladrillos de arcilla refractaria especialmente fabricada para este objeto. Otros refractarios usados en menor extensión son las arcillas de tipo de uso severo, más costosas y ladrillos de sílice y aluminio. Generalmente puede emplearse una sola clase de refractario de arcilla para revestir el cubilote desde el fondo hasta la puerta de carga, siempre que el tipo seleccionado pueda cumplir los severos requerimientos de la zona de fusión.

**Las propiedades que controlan la utilidad de los ladrillos refractarios son:**

- 1. El cono pirométrico equivalente (C. P. E.), que indica la habilidad del material para soportar temperaturas elevadas. El grado del C. P. E. depende de las características de las arcillas y de la mezcla empleada para conformar el grosor del ladrillo.**
- 2. La densidad, que afecta la resistencia a la penetración de la escoria, el disgregamiento y la abrasión. Las dimensiones de las piezas de las series normales son:**

**229 X 114 X 64 mm. (9 X 4 ½ X 2 ½ ")**

**229 X 114 X 76 mm. (9 X 4 ½ X 3")**

**Estas series son las más comerciales y están integradas por: Rectangulares, cantos, círculos, puntas y salmeres.**

**Combinando estas piezas se pueden construir: Bóvedas, arcos, anillos y un sinnúmero de variantes.**

**Los refractarios para el horno de cubilote, desde el punto de vista de las condiciones de servicio, se seleccionan mediante la división de cuatro zonas dentro del horno, las cuales son:**

**1) Zona de fusión: Esta se extiende desde arriba de las toberas, hacia la parte superior del cubilote a lo largo de la distancia que depende de la altura de la cama de coque y de la velocidad del aire soplado. Las condiciones de operación más críticas son precisamente en esta zona, en donde tiene lugar la oxidación del hierro y de otros elementos y el ataque de la escoria es más destructivo, (Fig. 8). El revestimiento refractario de esta zona generalmente consiste de una o de dos capas, una pegada a la coraza y**

que actúa como revestimiento de protección y aislamiento, la cual esta formada por tabiques de tipo silicio - aluminio. El espesor de este revestimiento de protección puede variar desde 1 hasta 4.5", dependiendo del tamaño del horno. Este material es permanente ya que se necesita parcharse o cambiarse cuando ha sido muy dañado al fallar el revestimiento del trabajo.

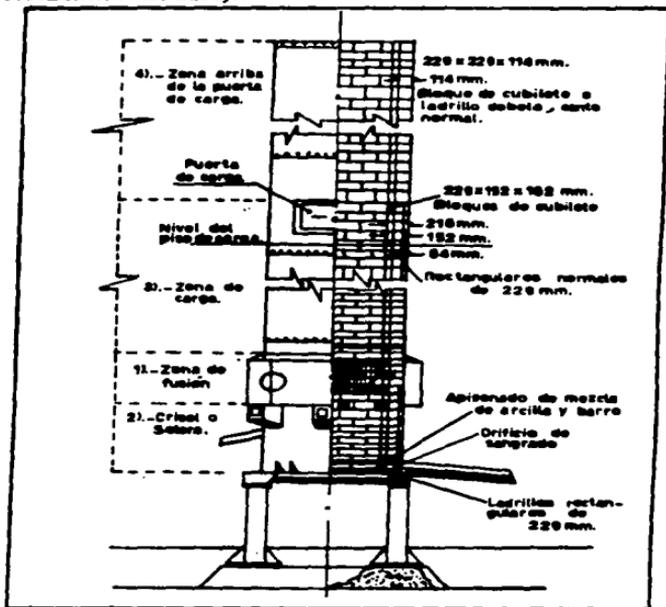


Figura 8. Se muestra las zonas más importantes, para la selección de los ladrillos refractarios y la disposición típica dentro del cubilote.

2) Crisol o solera: Es esta zona la temperatura es de 150 o 200° C más baja que en la de fusión y el revestimiento está en contacto solamente con el metal fundido, de tal manera que los efectos de temperatura y abrasión no son serios al menos que el metal esté fuertemente oxidado, (Fig. 8).

3) Zona de carga: El revestimiento de esta zona no está sujeto ni a temperaturas muy elevadas ni a ataques químicos, (ver fig. 8), pero la abrasión es muy severa, tanto por el impacto de la carga, como por la fricción de ésta en su movimiento descendente. El revestimiento de esta zona según las condiciones anteriores, puede hacerse con refractario silico - aluminoso de alta calidad (40% alúmina), de bajo contenido de fierro y de quemado alto, para mejorar su resistencia a la abrasión.

4) Zona arriba de la puerta de carga: Por último, en esta zona la operación del horno en cuanto a sus efectos sobre el revestimiento, es benigna, por lo que la función del revestimiento es solamente proteger la coraza del calor de los gases que suben por la chimenea. Por lo tanto una protección de 2.5" de refractario silicio - aluminoso de calidad intermedia, (Fig. 8).

## COMBUSTIBLE.

El coque es el principal combustible manejado para fundición en cubilote, es un residuo sólido, celular, del calentamiento de ciertos carbones bituminosos (hidrocarburo líquido, sólido o intermedio, muy combustible que se halla en estado natural), sin contacto con el aire, arriba de la temperaturas a las que ocurre la descomposición térmica.

Anteriormente se utilizaba carbón vegetal, que era universal para la fundición del hierro.

Alrededor de 1883 fue desplazado por el coque de panal o colmena, este se compone generalmente de carbón bituminoso fuertemente coquizable, con alto o mediano contenido de volátiles a temperaturas de 800 y 1000° C y sirven como agentes reductores para extraer metales de sus minerales, cuando éstos son óxidos. Hoy en día el coque de subproductos es mucho más utilizado que el coque de colmena.

Los coques de subproductos son hechos por cuidadosa selección de mezclas de carbonos de volátiles altos, medios y bajos, a los que se añaden generalmente un porcentaje muy fino de antracita (carbón fósil poco bituminoso, es duro y brillante, arde lentamente y produce muy poco humo y ceniza), o de coque finalmente pulverizado, para mejorar el tamaño del coque, su estructura y su resistencia. Frecuentemente se emplean 4 o 5 carbonos diferentes de dicha mezcla esto con el fin de obtener las propiedades químicas y físicas deseadas para obtener un coque de alta calidad.

El coque de subproductos, tal como sale de los hornos de producción, es conocido como coque en bruto, y generalmente tiene gran variedad de tamaños. Para su venta a las fundiciones es separado en fracciones de tamaños específicos por medio de un elaborado equipo de separación en cribas. En la planta de productores, el coque que sale ha sido cuidadosamente clasificado cumpliendo con especificaciones en cuanto al límite de tamaño.

Además de una adecuada selección de tamaños al coque se le realizan otras pruebas que son fundamentales para la calidad del producto, de los cuales las más importantes se mencionan a continuación.

- 1) Muestreo.
- 2) Dureza.
- 3) Pruebas Físicas.
- 4) Granulometría.

- 5) Resistencia Mecánica.
- 6) Porosidad y Gravedad Específica.
- 7) Densidad o Granel.
- 8) Pruebas de Estructura Celular.
- 9) Pruebas Químicas.
- 10) Humedad.
- 11) Prueba de Materias Volátiles.
- 12) Prueba de Cenizas.
- 13) Pruebas de Carbono Fijo.
- 14) Pruebas de Contenido de Fósforo.
- 15) Pruebas de Contenido de Azufre.
- 16) Pruebas de Contenido de Grafito.
- 17) Pruebas de las Propiedades Térmicas.
- 18) Poder Calorífico.
- 19) Pruebas de Inflamabilidad.
- 20) Pruebas de Combustibilidad.
- 21) Pruebas de Reactividad.

Todas estas propiedades son realizadas por la Steel Corporation, el Ministerio Norteamericano de Minas, la American Gas Association, la American Society Testings Materials y el Comité para Análisis de Carbón y de Coque de la A. S. T. M.. hacen que con métodos Standar, la calidad del Coque Americano sea de primera y en sí lo hacen el favorito en todos los ramos de la fundición del hierro.

**DIMENSIONES.** El tamaño y las proporciones de los cubilotes son bastantes variables, sin embargo, daremos algunos valores indicativos:

**1. DIÁMETRO INTERIOR.** Se puede aceptar que en la práctica la producción de los cubilotes medianos y grandes es de 75 Kg. por hora y por decímetro cuadrado de sección. Por lo tanto, si P es la producción en Kilogramos/hora, S la sección interior del cubilote en decímetros cuadrados y di es el diámetro interior en decímetros, tendremos:

$$P = S \times 75 = \frac{\pi di^2}{4} 75 \text{ Kg/h}$$

Realizando la operación en números redondos:

$$P = 60 \times di^2$$

De lo cual:

$$di = \sqrt{P/60} \text{ dm}$$

La producción de los cubilotes pequeños es algo inferior (de 15 a 20 % menos)

**2. ESPESOR DEL REVESTIMIENTO O DIÁMETRO EXTERIOR.** El espesor de los refractarios varía desde 15 cm para los cubilotes pequeños, hasta 30 cm y más para los mayores, existen cubilotes modernos cuyos revestimiento refractario se ha reducido de 6 a 9 cm., cuya envoltura de plancha se enfría por el exterior, en la zona caliente, por medio de una camisa de agua.

Si "a" es el espesor del refractario y "b" es el de la capa intermedia en decímetros, el diámetro exterior del cubilote resultará:

$$de = di + 2 (a + b) \text{ dm}$$

El perfil interior del horno es generalmente cilíndrico. A menudo se sustituye el revestimiento de la boca de carga por coquillas huecas de hierro colado para resistir la acción mecánica de la introducción de la carga.

**3. ALTURA DEL CUBILOTE.** La altura del cubilote es la distancia "H" entre la solera y la boca de carga. En algunos casos está establecida en proporción al diámetro interior; en tal caso:

$$H = (7 \dots 5) di \text{ dm.}$$

Normalmente el cubilote debe contener de 4 a 6 cargas de material (coque + fundente + metal). Una altura demasiado reducida provoca pérdidas de calor, por cuanto los gases calientes no encuentran el modo de ceder la mayor parte de su calor sensible a la carga situada en la parte superior.

Una altura excesiva puede provocar el desmenuzamiento del coque y al contacto de la carga de la parte superior, la conversión del anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) en monóxido de carbono (CO) según la reacción.



Gas que se marchará por la chimenea; es decir, que en vez de recuperar calor sensible, se desperdiciará combustible.

4. NUMERO Y SECCIÓN DE LAS TOBERAS. Actualmente se prefiere colocar las toberas en un mismo plano excepto en los grandes cubilotes, en los cuales se colocan en dos capas vecinas, alternadas verticalmente.

Su número varía de 2 para cubilote más pequeños y de 4, 6, 8 y hasta 12 para los grandes cubilotes. Su forma puede ser redonda cuadrada o rectangular.

La sección total "s1" en centímetros cuadrados de las toberas se establece en proporción a la sección interior "S1" en centímetros cuadrados del cubilote en tal caso:

$$S = \frac{S1}{5...6} \text{ cm}^2 \text{ para los hornos mayores}$$

$$\text{Para los hornos pequeños } S = \frac{S1}{4...5} \text{ cm}^2$$

Otros más recientes, considerando que la cantidad del aire debe ser proporcional a la relación :

$$\alpha = \frac{p}{P}$$

Entre el peso "p" en kilogramos del coque de carga y el peso P en kilogramos de la carga metálica, fijan la sección total S1 de las toberas en:

$$s = \alpha \times S1 \text{ cm}^2$$

Es conveniente comprobar que la sección "s" resulta por lo menos el doble de la sección de la boca expelente del ventilador.

Las toberas se colocan ligeramente inclinadas hacia el interior del cubilote para evitar que las invadan las escorias en el metal líquido.

5. TUBERÍA Y CÁMARA DE AIRE. Es conveniente que la tubería del aire sea recta, de sección redonda S2 doble de la sección expelente del fuelle, y entre tangencialmente en la cámara del aire. Esta última debe tener una sección.

$$s3 = (2,5, \dots, 3) \times s2 \text{ cm}^2$$

Y una altura  $a = 2 \times b$

Siendo  $s3 = a \times b$  y  $b = a / 2$ , se tendrá  $s3 = a^2 / 2$ , y  $a = \sqrt{2 \times s3}$

Las tuberías, cámara de viento, portillos, mirillas etc., no deben permitir pérdidas de aire.

6. LA ALTURA DEL CRISOL ENTRE LA SOLERA Y LA PRIMERA FILA DE TOBERAS. Cuando la salida del hierro colado es intermitente, resulta igual a:

$$h = (0.6, \dots, 0.8) \text{ di dm}$$

Si se quiere producir hierro colado muy resistente, con un bajo contenido de carbono conviene reducir sensiblemente la altura "h", y en tal caso para tener una reserva de hierro colado hay que aplicar un anticrisol. La tendencia moderna es de reducir el mínimo posible la altura "h".

Cubilotos Especiales. En la actualidad se está difundiendo el empleo de cubilotos especiales, (en la siguiente figura se reproduce un cubilote) con un sistema equilibrado de tobera de aire, en el cual las toberas derivan hacia abajo y están desdobladas. La cámara de aire, colocada a mayor altura, esta dividida en dos partes por una pared horizontal, perforada en los intervalos entre las toberas. En la sección superior entra el aire que proviene del fuelle y que, después de distribuirse de modo uniforme por toda la cámara, pasa a través de las aberturas de la pared intermedia, a la sección inferior. Desde aquí el aire penetra en las derivaciones verticales y alcanza las toberas, estas van emparejadas y por medio de un invertidor, se puede insertar una u otra de las toberas de cada par.

Cuando se observa a través de la mirilla que una de las toberas se oscurecen, por medio de una palanca se desconecta colocando en su lugar la otra tobera del par correspondiente.

De este modo puede limpiarse la primera de las toberas sin interrumpir el funcionamiento de horno.

Los gases calientes se componen en parte de monóxido de carbono (CO) y son, por tanto muy ricos en calor sensible y en calor potencial.

Estos gases, elevados un poco de la boca de carga, son conducidos a una cámara de combustión y quemados completamente.

Con la adición de aire se les obliga a recorrer la batería de tubos en un recuperador de calor.

El viento procedente del fuelle lame por el exterior la batería de tubos del recuperador y se precalienta, dotando las toberas de una temperatura superior a los 500° C: Ese horno es de construcción complicada y resulta de funcionamiento difícil y de instalación cara, pero permite economía de combustible (cerca del 30%), aumento de la temperatura de sangría y sobre todo, al reducir el coque de carga y por tanto las cenizas, un mejor control químico-metalúrgico de hierro colado. Este sistema es recomendado especialmente para cubilotes bastante grandes, destinados a funcionar por lo menos de 6 a 8 horas consecutivas.

## **FUNCIONAMIENTO DEL CUBILOTE.**

### **1. MANTENIMIENTO.**

**Después de cada fusión de 3 a 10 horas, el cubilote se deja enfriar y, al día siguiente, se repara: a este fin, con un cincel o una piqueta, se quita la escoria o el material refractario vitrificado adherido al revestimiento, que se presenta más o menos corroído en tomo a las toberas hasta alcanzar el material refractario que no ha sufrido deterioro.**

**Las partes afectadas se recubren entonces con material nuevo, bien trabajado y dejando reposar por los menos veinticuatro horas. Si el espesor a recubrir es muy grande, se utilizan medios ladrillos cocidos, siempre de material refractario.**

**La reparación puede efectuarse también por medio de unos aparatos especialmente creados por este uso, que proyectan la masa refractaria contra las paredes que hay que reparar por medio de aire comprimido.**

**Este sistema es aplicable a los hornos de dimensiones grandes y mediana.**

### **2. ENCENDIDO.**

**Se prepara la solera del horno con arena de moldear seca con una pequeña adición de grafito y de agua y se seca con fuego de leña o con una llama de fuel - oil o gas.**

Dos horas antes de dar comienzo a la colada, por la portilla de encendido (o desde arriba) se introduce un montoncito de leña seca que se enciende hasta obtener un fuego abundante y vivo, favorecido por el enérgico tiro que producen la portilla de encendido, las mirillas de las toberas, la piqueta de colada y la de la escoria, todas abiertas.

Se comienza entonces a introducir el coque de encendido, en una capa de unos 32 cm. para cada carga, a razón de 140 Hg. por metro cuadrado del horno, con el coque ebe mezclarse unos 5 a 10% de piedra caliza, llamada también fundente; antes de introducir una nueva capa hay que asegurarse de que el coque situado debajo esté bien encendido.

El coque de encendido debe alcanzar de 0.60 a 1 m sobre el plano de las toberas. El nivel se comprueba introduciendo por la boca de carga una cadena ó una barra doblada en "Z", el encendido de la columna se comprueba observando el color rojo del revestimiento refractario.

Se activa el encendido dando viento por espacio de 4 a 5 minutos, lo cual sirve también para desulfurar el coque.

### 3. INTRODUCCIÓN DE LA CARGA.

Se inicia entonces la carga propiamente dicha, para esto se coloca sobre la capa de coque de encendido una carga de coque adicionando la necesaria cantidad de fundente y encima de ésta carga metálica, a continuación se coloca una segunda carga de coque con fundente y la segunda carga metálica y así alternadamente hasta alcanzar la boca de carga ; a partir de este momento los obreros que atienden la carga deben cuidar solamente de mantener lleno el horno, con cargas alternas, a medida que las otras cargas vayan descendiendo por efecto del consumo de combustible y de la fusión del metal.

Se cierran las mirillas de las toberas y las portillas, se da viento y en un espacio de tiempo que varía entre 5 ó 8 minutos se presenta el primer hierro fundido en la piqueta de colada, que debe cerrarse, la capa de coque de encendido cuya función es la de sostener las cargas colocadas encima, debe estar constituida por una cantidad de combustible cuya altura permanezca invariable durante toda la colada y cuyo consumo se reintegra de un modo regular a través de las cargas sucesivas de coque. En caso de no establecerse una estabilidad suficiente, cada cinco o seis cargas normales, se compensa el mayor consumo de la capa inferior efectuando una falsa carga, es decir, una carga de coque sin metal o mejor todavía disminuyendo la carga metálica y dejando sin alteración la de coque.

En general las cargas se calculan del modo siguiente:

i) La carga de coque debe formar una capa de aproximadamente 16 cm de espesor en toda la superficie del cubilote, por lo tanto el peso  $P_c$  de coque de la carga será:

$$P_c = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \times S \times P \text{ (Kg)}$$

Y reduciendo  $d_i$  (diámetro interno del cubilote) a decímetros,  $S = 1.6 \text{ dm}$  (espesor de la carga),  $P = 0.459 \text{ Kg/dm}$  (peso volumétrico del coque), se tendrá:

$$P_c = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \times 1.6 \times 0.450 \text{ (Kg)}$$

Restando a  $d_i$  el valor 11.3 dm. que corresponde a la sección  $S$  de 1  $m^2$ , y realizando la operación, se puede también decir que la carga de coque es, por término medio:

$$P_c = 72 \text{ Kg/m}^2 \text{ de sección de cubilote}$$

ii) La carga del fundente en pedacitos del tamaño de una nuez o poco mayores, distribuida sobre cada carga de coque, varía según el contenido en cenizas del coque, de la arena adherida a los lingotes de hierro colado, de la calidad de la masa refractaria del horno, la calidad del mismo fundente, etc. Por término medio debe ser:

$$P_f = (0.3, \dots, 0.35) P_c \quad (\text{Kg})$$

Algunas veces, la piedra caliza puede sustituirse en parte con espato fluor, pero no en proporción mayor que la cuarta o quinta parte de su peso a fin de evitar el excesivo desgaste de la masa refractaria.

iii) La carga metálica es unas diez veces, aproximadamente superior a la carga de coque, también la carga metálica debe ser distribuida uniformemente sobre la superficie del cubilote, en trozos no demasiado irregulares ni demasiado macizos, de peso uniforme (de 10 a 15 Kg.) en los cubilotes de tamaño mediano; los diversos elementos que forman la carga metálica deben ser introducidos en orden inverso al de su grado de fusión, por tanto:

- Los trozos de hierro ó acero, bien fragmentados, en el centro inmediatamente encima del coque.
- El hierro colado en lingotes y las aleaciones ferrosas en la periferia.
- Los trozos de hierro colado más pesados
- Los trozos de hierro colado más ligeros encima del resto.

Fijando la carga metálica como diez veces la carga de coque, es decir, 720 Kg/m<sup>2</sup> de la sección del cubilote, está provisto un consumo de coque del 10% respecto a la carga metálica.

Sin embargo, este consumo será según la calidad de hierro colado que hay que refundir.

a) Si se funde hierro colado a medio o alto fósforo, el consumo de coque se puede reducir al 9 e incluso al 8%. En tal caso se deja inalterada la carga de coque y se aumenta la carga metálica.

Ejemplo:

$$P_m = \frac{P_c}{0.08} = \frac{72}{0.08} = 900 \text{ Kg}$$

b) Si se funden cargas con un gran contenido de acero ó si se quiere obtener hierro colado muy caliente el consumo de coque aumenta hasta el 15% y más. También en este caso se deja inalterada la carga de coque y se reduce la carga metálica.

Ejemplo:

$$P_m = \frac{P_c}{0.15} = \frac{72}{0.15} = 480 \text{ Kg}$$

#### **4. FIN DE LA FUSIÓN.**

Después de algunas horas de funcionamiento se comprueba la cantidad de piezas que quedan todavía por colar y se introduce la última carga reservando para esta los trozos de metal más ligeros.

Cuando el nivel de la carga alcanza aproximadamente las tres cuartas partes de la altura del horno, se reduce gradualmente el viento, cerrando por completo cuando esta próxima la fusión del último hierro colado. Cuando aparece escoria en la piqueta se vacía el horno.

#### **5. VACIADO DEL HORNO.**

Hay que asegurarse de que el pavimento de abajo del horno esté bien seco; se abren las portillas de la toberas, se quita el canal de colado y la portilla de encendido y se hace correr el cerrojo ó el puntal que cierra la puerta inferior del horno, la solera del horno cae al igual que los residuos de la capa de coque y de material contenidos, que se apagan con chorros de agua y se retiran para que nos se estropee el cubilote.

El coque recuperado se aprovecha para las estufas ó para el relleno de machos muy voluminosos. El hierro se refunde para la siguiente colada.

#### **6. OBSERVACIONES SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DE LOS CUBILOTES.**

a) El primer hierro colado que se extrae no está nunca bastante caliente salvo en los cubilotes cuyo crisol está muy bajo.

Por lo tanto, aquel material se emplea para colar piezas macizas o de poca importancia. A falta de estas, el hierro colado se convierte en lingotes para volverlo a

utilizar en la fusión sucesiva. Igualmente se puede decir del hierro colado residual extraído en último lugar.

b) La piqueta de colada se cierra con un tapón cónico de arcilla cruda que se introduce con la ayuda de una barra larga; para dar salida a intervalos, al hierro fundido se solidifica en la piqueta de colada, es decir, si se forma un tapón de hierro hay que picarlo con la barra de sangrar, si es posible, o isuflar oxígeno en la piqueta misma con un tubo de hierro de 5 a 10 mm. adaptado a una bomba y activando eventualmente la combustión con un trozo de coque incandescente.

c) El cubilote debe fundirse normalmente a un ritmo de alrededor de 10 cargas por hora (de 8 a 12) y por lo tanto, la introducción de una nueva carga debe realizarse cada 5 a 7 minutos. Si se observa que el descenso de la carga se detiene o retrasa, puede ocurrir que se haya formado un puente, es decir, un atasco de piezas de metal colocadas en forma que mantengan suspendidas las cargas superiores. Hay que deshacer el puente con una barra puntiaguda y pesada, que se introduce por la boca de carga. Una vez desatascado hay que añadir enseguida el coque de encendido que, entretanto, se haya consumido.

- Que queden obturadas las toberas a causa de la escoria que, enfriada por la corriente de aire, se deposita en frente de ellas. Hay que vigilar las toberas a través de las mirillas y periódicamente liberarlas de la suciedad que las cubre por medio de una barra que se introduce a través de las portillas hasta que queden brillantes y luminosas. Desde este punto de vista, las toberas dobles son muy útiles; quitando una de las toberas, al no ser enfriada por el viento se puede limpiar en pocos minutos.

- Que se empleen fundentes inadecuados ó coque de bajo poder calorífico ó con exceso de cenizas o refractarios de mala calidad.

d) Si a los 20 ó 30 minutos de obtenidos el primer material fundido la producción del cubilote resulta anormal o la temperatura del hierro colado es persistentemente baja hay que indagar las causas que pueden ser:

- Carga férrea del tamaño inadecuado a las dimensiones del cubilote.
- Cargas muy oxidadas ó con exceso de tierra o de arena adherida.
- Coque en trozos de tamaño inadecuado, con escaso poder calorífico, con elevado contenido de cenizas o demasiado friable.
- Piedra caliza de mala calidad, con exceso de sílice.
- Revestimiento refractario de mala calidad.
- Obturación de las toberas.
- Formación de algún puente.
- Reducción de la sección del cubilote por encoronamiento, es decir, por acumulación de escorias adheridas al revestimiento.

e) La piquera de la escoria debe permanecer normalmente cerrada para evitar escapes de aire y para asegurar una capa de 12 a 15 cm. de escoria sobre el baño metálico que proteja a éste último de las oxidaciones. Sin embargo de cuando en cuando se abrirá el agujero y se descargará la escoria sobrante en una caldera. En las grandes instalaciones industriales está previsto el ulterior empleo de la escoria.

f) La marcha del cubilote puede juzgarse por la llama de la boca de carga y por la fractura de la escoria, por ejemplo:

#### **EN LO QUE RESPECTA A LA LLAMA:**

**- Ausencia de llama en la boca de carga, salvo en la fase final:**

**Indica funcionamiento y proporciones normales del horno.**

**- Llama azul turquesa: indica que prevalece el CO y que hay por lo tanto, exceso de carbón en la carga.**

**- Llama blanca, brillante: Indica que prevalece el CO<sub>2</sub> y que hay por lo tanto, exceso de viento.**

**- Llama humosa-. Es el indicio de marcha lenta y de exceso de coque.**

#### **EN LO QUE RESPECTA A LA ESCORIA.**

**- Escoria fluida, pero no demasiado citrea, compacta, color verde botella: indica buena marcha con oxidación escasa.**

**- Escoria demasiado fluida, con fractura quebradiza y oscura: Indica exceso de fundente.**

**- Escoria compacta, parda, con fractura vítrea de color amarillento. Indica buena marcha y elevado contenido de manganeso en la carga.**

**- Escoria negra.- Indica la presentación de óxidos pesados (de hierro y de manganeso) y, por lo tanto, oxidación excesiva.**

## 7.- BALANCE TÉRMICO Y RENDIMIENTO DEL CUBILOTE.

La combustión del coque, (como la de todos los demás combustibles) es un proceso de oxidación rápida del carbono por parte del oxígeno del aire, acompañada del desarrollo de calor. Efectivamente, la oxidación se produce a cualquier temperatura, si bien se realiza con lentitud y sin desarrollo apreciable de calor, pero si una parte cuando menos cantidad, de combustible se eleva a la temperatura de encendido, es decir, si se acelera la combustión y se pone combustible y comburente, esta prosigue activa con aumento de temperatura y fuerte desarrollo de calor.

La temperatura de encendido del coque es, aproximadamente de 700° C y la máxima cantidad de calor producido se obtiene cuando la combustión es completa, es decir, cuando da lugar solamente a la formación de CO<sub>2</sub> (más el nitrógeno N contenidos en el aire), de modo que sea:



mientras que:



De aquí se desprende que, si la combustión se produce con una cantidad de oxígeno que sea la mitad de la necesaria (O en vez de O<sub>2</sub>), cada kilogramo de C pierde 8100 - 2440 = 5660 Kcal, es decir:

$$1 - n = \frac{5660}{8100} = 0.7 \text{ aprox., es decir, el 70\% de calor disponible}$$

n = rendimiento

## **8. PRUEBAS METALÚRGICAS INMEDIATAS**

Las pruebas mecánicas y los análisis químicos sirven para comprobar rigurosamente la producción cuando esta concluida.

El fundidor a su vez debe tener a su disposición algún medio aunque sea como punto de orientación, pero rápido e inmediato que le guíe en su trabajo. Es decir, que el fundidor de a conocer, en pocos minutos, si el metal contenido en el caldero de colada posee las características adecuadas para colar determinadas piezas. A este objeto se realizan las pruebas metalúrgicas inmediatas:

Las más usadas son:

- a) Pruebas de colabilidad, es decir la propiedad de llenar y reproducir bien el molde.
- b) Pruebas de temple.
- c) Pruebas de sensibilidad al espesor.
- d) Pruebas de tendencia al rechupe.

### **A. PRUEBAS DE COLABILIDAD O DE CURY.**

Mediante la placa-modelo de un espiral con las siguientes características:

Espiral con paso de 24 mm., trazada a centros 40 agujeros, se prepara una caja de arena en verde, con la huella de esta espiral se cuela. La longitud de la espiral obtenida que se determina fácilmente multiplicando el número de señales por 50 mm) es un índice de la colabilidad del metal. (Ver figura 9).

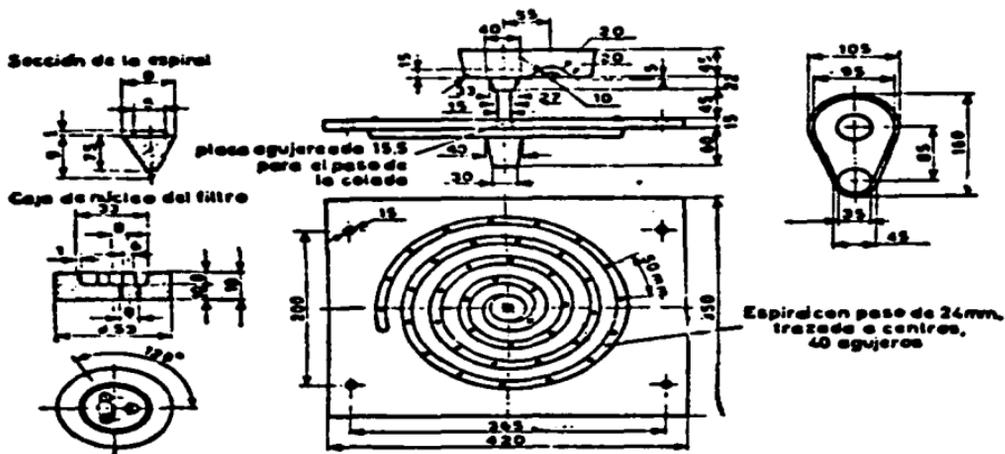


Figura 9.-Prueba de Colabilidad o de Cury de espiral.

• Hay que tomar las siguientes precauciones.

- Filtro bien calibrado y todo el molde perfectamente en el acto de la colada.

- La caja del molde debe estar bien cerrada, para que no forme rebabas. Es conveniente a estos efectos que sea metálica y que esté mecanizada.

- Durante la colada, el molde debe estar en posición horizontal y el nivel del metal en el bebedero de colada debe mantenerse contante.

- El grado de humedad de la arena de moldeo y la entrada de aire no producen, dentro de ciertos límites, ningún efecto sobre el resultado.

#### B. PRUEBA DEL TEMPLE.

Es característica para el hierro colado. Se puede efectuar con la probeta triangular o la paralelepípedica. La triangular es apta para el mismo colado con una cantidad de silicio comprendida entre el 1.3 y el 2.5%, y se realiza por medio de la coquilla de hierro colado.

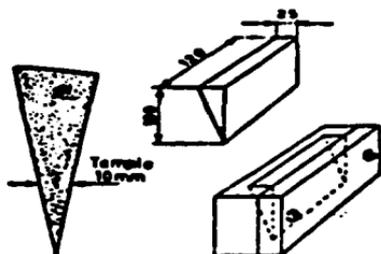
La probeta que se obtiene es uniforme y hay que medir sus espesores: La medida del espesor "S" establecida en el límite de la parte interior no templada caracteriza la actitud del hierro colado al adquirir el temple. Para hierros colados cuyos demás elementos estén contenidos en los límites. (Ver figura 10).

C tot = 3.30 a 3.50 %

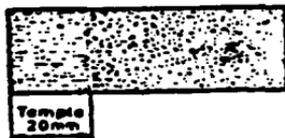
Mn = 0.50 a 0.90 %

P=0.15 a 1.10%

S=0.07 a 0.10 %



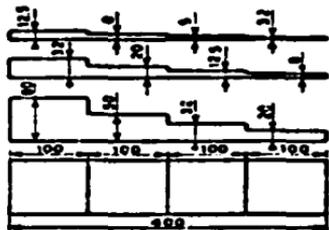
10.1 — Prueba de temple con probeta triangular. La probeta es entada en cuquilla (a la derecha). El temple, medido como indica la figura de la izquierda, permite deducir el contenido de silicio según la tabla XX.



10.2 — Medida de la profundidad de temple. Para hierros colados con contenido de silicio menor, las probetas pueden ser vez y media o dos veces más grandes; ver las tablas XXI, XXII y XXIII.



10.3 — Prueba de temple con probeta paralelepípedica. La probeta es entada en arena verde sobre una cuquilla. La profundidad de temple, medida como indica la figura 295, permite deducir el contenido de silicio según las tablas XXI, XXII y XXIII.



10.4 — Probeta de sensibilidad a los espesores. La longitud y la anchura de las probetas son constantes (400 y 100 mm), pero se pueden obtener tres series de espesores, como indican la figura.

Figura 10

La siguiente tabla nos permite obtener, por el espesor de temple, el contenido de silicio y viceversa.

El espesor de temple "S" según el contenido de silicio probeta triangular. (Ver Tabla No. 1)

TEMPLE (mm)	SILICIO (%)
20	1.15
17.5	1.24
15	1.34
12.5	1.50
10	1.73
7.5	2.04
5.2	2.30

Tabla No. 1

### C. PRUEBA DE SENSIBILIDAD AL ESPESOR.

Cuando los espesores de las piezas coladas son diversas de punto a punto, sea porque no se ha tenido en cuenta la exigencia de la fundición o porque hay que respetar necesidades de diseño o de cálculo; las piezas no se enfrían isotérmicamente: las zonas delgadas se enfrían más rápidamente y resultan más claras, más compactas, más duras, más ricas de carbono combinado en relación con las zonas más espesas, más lentas estas en enfriarse, de lo cual se derivan también tensiones internas, deformaciones y roturas,

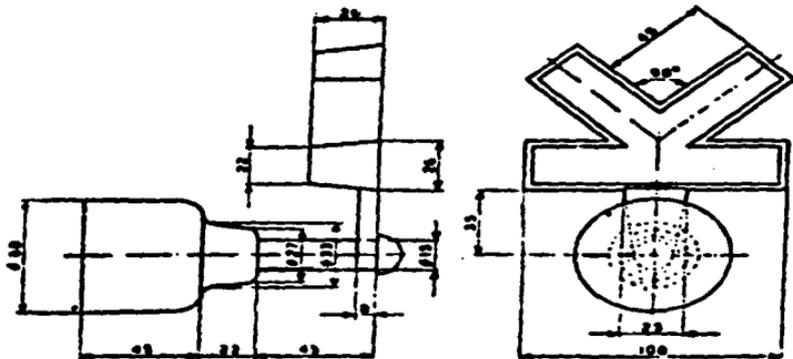
No todos los hierros fundidos se comportan igualmente durante el enfriamiento siguiente a la colada, y la prueba de sensibilidad al espesor tiene por objeto precisamente el descubrir esta característica.

Se usan en general las probetas escalonadas de tres tipos: grande, media y pequeña para comprender el campo de los espesores más comunes de las piezas. Después de la colada, se rompe la probeta y se examina la fractura, o mejor se esmerila una de las secciones rotas y se sigue la prueba de Brinell en el centro de los escalones.

La probeta escalonada puede servir también como prueba de tendencia al rechupe.

#### D. PRUEBA DE TENDENCIA AL RECHUPE.

Han sido propuestas una amplia variedad de tipos de probetas, para este caso se podrá utilizar la escolanda o la probeta en forma de "K", que es colada en arena verde, después del enfriamiento se rompe la probeta y se examina la parte central, donde convergen los cuatro brazos y el canal de la colada, que es el punto donde tienden a formarse eventualmente rechupes. (Ver figura 11).



— Prueba en forma de K para la comprobación de la tendencia al rechugo. Se cuela en arena verde. El examen de la estructura en el cruzo de los brazos, después de la rotura de la prueba, da una idea de la tendencia al rechugo del hierro colado.

Figura 11

## I.2. FUNDICIÓN GRIS.

Los hierros fundidos, como los aceros, son básicamente aleaciones de hierro y carbono. Aunque los hierros fundidos comunes son frágiles y tienen más bajas propiedades de resistencia que la mayoría de los aceros, son baratos, pueden fundirse más fácilmente que el acero y tienen otras propiedades útiles.

En relación con el diagrama hierro-carburo de hierro, los hierros fundidos contienen más cantidad de carbono que la necesaria para saturar austenita a la temperatura eutéctica; por lo tanto, contienen entre 2 y 6.67% de carbono (Diagrama 1). Como el alto contenido de carbono tiende a hacer muy frágil al hierro fundido la mayoría de los tipos manufacturados comercialmente están en el intervalo de 2.5 a 4.3% de carbono.

A las temperaturas normales, el hierro tiene un cristal de red cúbica de cuerpo centrado, que es el hierro alfa. Por encima de  $910^{\circ}\text{C}$  ( $1670^{\circ}\text{F}$ ), el hierro cambia su estructura cristalina por una red cúbica de caras centradas, llamada hierro gamma, forma que permanece sin cambiar hasta la temperatura de  $1400^{\circ}\text{C}$  ( $2250^{\circ}\text{F}$ ), cuando revierte a una red de cuerpo centrado, llamado hierro delta. Estos cambios van acompañados por variaciones en la microestructura y la resistividad eléctrica. (ver fig. 12).

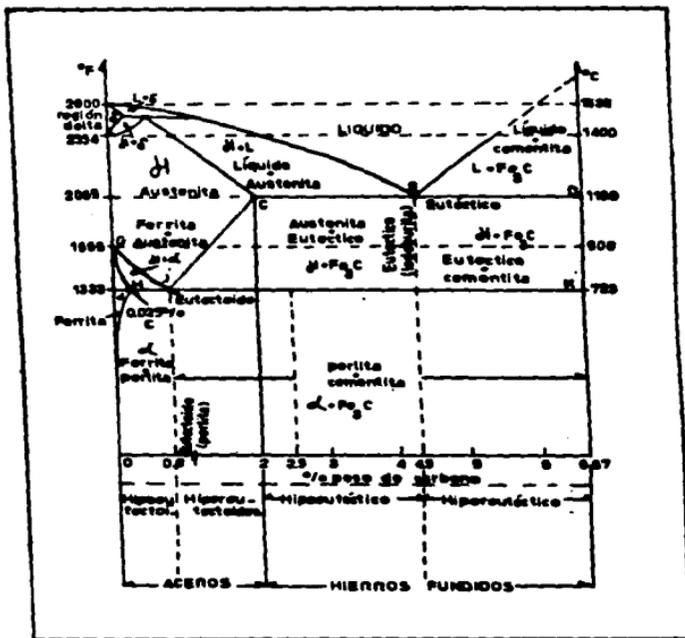


Diagrama 1. Diagrama de equilibrio hierro - carburo de hierro.

Existen diferentes tipos de hierro y son distinguibles por su estructura metalográfica y por las variables que dan origen a cada tipo de hierro, como son: el contenido de carbono, el contenido de aleación y de impurezas, la rapidez de enfriamiento durante o después del congelamiento, y el tratamiento térmico después de fundirse. Los tipos de hierro fundido se clasifican de la siguiente manera:

**Hierros fundidos blancos.** Este tipo de hierros todo carbono está en forma combinada como cementita.

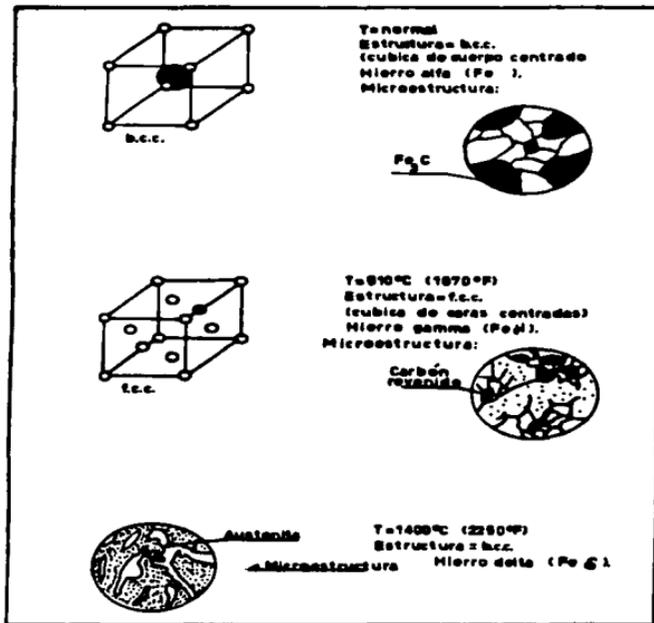
**Hierros fundidos maleables.** En éstos la mayoría o todo el carbono está sin combinar, en forma de partículas redondas irregulares, conocidas como carbono revenido, el cual se obtiene mediante tratamiento térmico del hierro fundido blanco.

**Hierros fundidos grises.** En estos, todo el carbono está sin combinar, en forma de escamas de grafito.

**Hierros fundidos enfriados rápidamente.** En los cuales una capa superficial de hierro fundido está combinada con una interior de hierro gris.

**Hierros fundidos nodulares.** En estos el carbono está grandemente sin combinar en la forma de esferoides compactas mediante adiciones de aleaciones especiales.

**Hierros fundidos aleados.** En los cuales las propiedades o la estructura de cualquiera de los tipos mencionados se modifican mediante la adición de elementos de aleación.



**Figura 12. Representación esquemática de los cambios de estructura y microestructura del hierro, conforme se aumenta la temperatura.**

Como se ha observado, en el transcurso del tiempo, el hierro constituye un material de gran importancia dentro de la industria, de ahí nuestro interés de crear técnicas de fundición adecuadas para obtener piezas moldeadas de este y otros materiales ferrosos y no ferrosos como el acero de alto contenido de carbono, el cobre, el aluminio y hasta el plomo, materiales que sirven a la fabricación de maquinaria, herramientas y equipos industriales.

#### PROCESO DE GRAFITIZACIÓN.

El carbono puede existir en dos formas alotrópicas: Diamante y Grafito.

El diamante es una forma poco frecuente del carbono y en las aleaciones hierro carbono, este último se halla en forma libre como grafito.

El punto de transición del líquido a la mezcla austenita + cementita se encuentra a la temperatura de  $1147^{\circ}$  C. (línea EOF del diagrama hierro carbono) por consiguiente, las líneas esquemáticas de la variación de la energía libre de la masa fundida de la mezcla austenita + cementita al variar la temperatura, se cortan a  $1147^{\circ}$  C, por debajo de esta temperatura se produce el proceso de cristalización, por encima, el de fusión.

El proceso de grafitización es ayudado por el alto contenido de carbono, la alta temperatura y la cantidad adecuada de elementos de grafitización sobre todo el silicio.

Durante el enfriamiento continuo, hay precipitación adicional de carbono debido al decremento en solubilidad de carbono en austenita, el cual se precipitó como cementita protectoide que grafitiza rápidamente.

La resistencia del hierro gris depende casi en su totalidad de la matriz en que esta incrustado el grafito, la cual es determinada por la condición de la cementita eutectoide.

El silicio es un elemento muy importante en la metalurgia del hierro gris, incrementando la fluidez y teniendo efecto sobre la solidificación de aleación fundida.

El silicio además de grafitizador y si este no se encuentra contrabalanceado por los elementos de promoción de carburos, favorece la solidificación de acuerdo con el sistema estable Hierro-Grafito, por lo cual durante la solidificación en presencia del silicio , el carbono se precipita como grafito primario en forma de hojuelas y una vez que se ha constituido el grafito primario, su forma no puede alterarse por ningún método.

Estas débiles hojuelas de grafito rompen la continuidad de la matriz y el efecto de muesca (concentración de esfuerzos), la cual explica la baja resistencia y la poca ductilidad del hierro gris.

Una relación del contenido del carbono y silicio a la estructura de secciones delgadas de hierro fundido seria de la siguiente manera: La región 1 que estaría comprendida entre 4.3% de carbono y 2.0% de silicio, en esta región la cementita es estable por lo tanto la estructura será hierro fundido blanco.

En la región II, que estaría entre 4.3% de carbono y 7% de silicio, en esta región hay suficiente silicio para producir la grafitización de todo el carburo de hierro, excepto la cementita eutectoide, por lo que la microestructura consistirá en hojuelas de grafito en una matriz grandemente perlítica.

En una región III, que comprendería de 4.3% de carbono hacia arriba y después de 7.0 % de silicio, dicha región con gran cantidad de silicio produce la completa disociación de la cementita a grafito y ferrita, lo cual dará como resultado un hierro fundido ferrítico gris de muy baja resistencia.

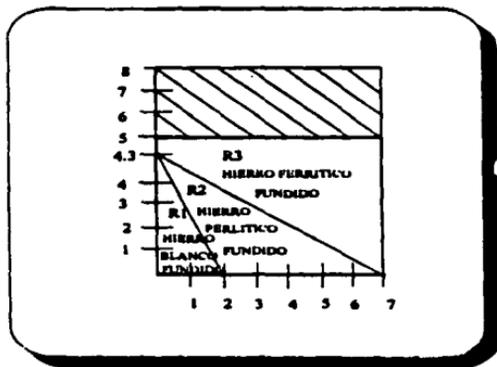


Figura 13. Muestra una relación del contenido de carbono y silicio a la estructura del hierro fundido.

La máxima resistencia tensil se obtiene con 2.75% de carbono y 1.5% de silicio, estos porcentajes darán como resultado un hierro fundido perlítico gts.

Para la determinación de un hierro perlítico gris de alta resistencia, se requiere de un cuidadoso control de contenido de silicio y de la rapidez de enfriamiento para grafitizar la cementita eutectica y proeutectoide, pero no la cementita eutectoide. Referencia figura 14.

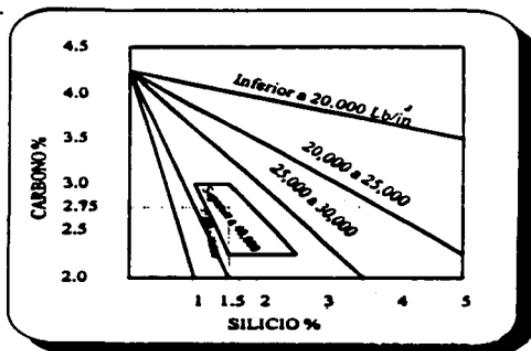


Figura 14. Muestra la influencia del contenido de carbono y silicio sobre la resistencia tensil.

#### AZUFRE EN HIERRO FUNDIDO.

La mayoría de los hierros grises comerciales contienen entre 0.06 y 0.12% de azufre, el efecto del azufre sobre la forma de carbono es el contrario que el del silicio, a mayor contenido de azufre, mayor será la cantidad del carbono combinado, teniendo de esta manera a producir un hierro blanco duro y frágil.

Aparte de producir carbono combinado, el azufre tiende a reaccionar con el hierro para formar sulfuro de hierro (FeS). Este compuesto de baja fusión presenta delgadas capas interdendríticas y aumenta la posibilidad de que haya fisuras a altas temperaturas (fragilidad al rojo). El azufre en grandes cantidades tiende a reducir la fluidez y suele causar cavidades (aire atrapado) en las piezas fundidas.

#### MANGANESO EN HIERRO FUNDIDO.

El manganeso es un estabilizador de carburo que tiende a incrementar la cantidad de carbono combinado, pero es mucho menos potente que el azufre. Si el manganeso está presente en la cantidad correcta para formar sulfuro de manganeso (MnS), su efecto será producir la proporción de carbono combinado eliminando el efecto del azufre

#### FÓSFORO EN HIERRO FUNDIDO

La mayoría de los hierros grises contienen entre 0.10 y 0.90% de fósforo originario del mineral de hierro. La mayor parte del fósforo se combinan con el hierro para formar fósforo de hierro (Fe<sub>3</sub>P), el cuál constituye un eutéctico ternario con la cementita y la austenita (perlita a temperatura ambiente).

El eutéctico primario se conoce como esteadita y es una característica normal en la microestructura de los hierros fundidos. La esteadita es relativamente frágil y con alto contenido de fósforo, en tanto que las áreas de esteadita tienden a formar una red continua, delineando las dendritas primarias de austenita. La condición reduce la tenacidad y hace frágil al hierro fundido, de manera que el contenido de fósforo debe controlarse cuidadosamente para obtener propiedades mecánicas óptimas.

**El fósforo incrementa la fluidez y amplía el intervalo de congelamiento eutéctico, incrementando así la grafitización primaria cuando el contenido de silicio es alto y el de fósforo bajo, por ende, es útil en piezas fundidas muy delgadas en las que un hierro menos fluido puede no tener una impresión perfecta del molde.**

**Si los contenidos de Silicio, Azufre, Manganeso y Fósforo se controlan a niveles adecuados, la única variable remanente que afecta la resistencia de un hierro perlítico gris es la hojuela de grafito. Como el grafito es extremadamente suave y débil, su forma, tamaño y distribución han explicado la mejora en la calidad del hierro fundido gris.**

#### **TRATAMIENTO TÉRMICO DEL HIERRO GRIS.**

**La supresión de las tensiones internas es, probablemente, el tratamiento térmico que más se aplica para hierros grises.**

**El hierro gris sin tratamiento térmico ulterior al fundido suele contener en todas la secciones de la pieza fundida, Las tensiones residuales resultantes que pueden reducir la resistencia, producir deformación y en algunos casos extremos, aún presentar fisuras.**

**La temperatura para la supresión de tensiones esta generalmente por debajo del intervalo de transformación de perlita a austenita. Para una máxima supresión de tensiones con mínima descomposición de carburo, es deseable un intervalo de temperatura de 537 a 565° C.**

**El recocido de hierro gris consiste en calentamiento a una temperatura suficientemente alta para suavizarlo y mejorar así la maquinabilidad, para la mayoría de los hierros se recomienda una temperatura de recocido entre 704 y 760° C, hasta aproximadamente 592° C, el efecto de la temperatura sobre la estructura de hierro gris es insignificante, conforme la temperatura aumenta a más de 592° C, la rapidez a que el**

carburo de hierro se descompone en Ferrita más Grafito aumenta marcadamente alcanzando un máximo de unos 594° C para hierro no aleado ó de baja aleación. La pieza fundida debe mantenerse a cierta temperatura durante un tiempo suficiente para permitir que el proceso de grafitización se complete. A temperaturas inferiores de 704° C, se requiere generalmente un tiempo de calentamiento demasiado largo.

El hierro gris se normaliza al ser tratado a una temperatura superior a la del intervalo de transformación; se mantiene a está temperatura por un período aproximado de 1 h/Pulg. de máximo espesor de sección y se enfría en aire inmóvil a temperatura ambiente.

El intervalo de temperatura para la normalización de hierro gris es aproximadamente de 885 a 927° C. La normalización puede utilizarse para mejorar las propiedades mecánicas (como dureza y resistencia tensil) ó para restaurar las propiedades de la condición de fundido modificadas por otro proceso de tratamiento térmico (como la grafitización ó el precalentamiento y poscalentamiento, asociados con la reparación con la soldadura)

### **I.3. MOLDES PARA VACIADO.**

**Paralelamente con el proceso de fundición se desarrolla la técnica de moldeo, la cual consiste en elaborar los moldes en los cuales ha de colarse el metal fundido que al solidificarse adquirirá la forma del modelo.**

**Según los materiales empleados y su consiguiente duración los moldes se dividen en:**

- A. Moldes perdidos o transitorios de arena.**
- B. Moldes permanentes de materiales metálicos o en coquilla.**

**En la fabricación de los moldes transitorios se requiere de:**

- 1. Modelos.**
- 2. Cajas de moldeo.**
- 3. Arena para moldeo.**
- 4. Herramientas.**
- 5. Maquinaria.**

**Así mismo según las necesidades del taller y los volúmenes de producción el moldeo se puede clasificar en:**

a) **Moldeo de mano:** En el cual todas las operaciones se realizan manualmente, o con ayuda eventual de medios de levantamiento o transporte (grúas, carretillas ,planos, inclinados, etc.) o de utensilios mecánicos (atacadores neumáticos o eléctricos, vibradores, etc.)

b) **Moldeo mecánico:** En el cual algunas o todas las operaciones (especialmente el compactado de la arena y la extracción del modelo) son realizados por medio de máquinas adecuadas. En el moldeo mecánico es indispensable la ayuda de medios de levantamiento y de transporte para asegurar en las operaciones auxiliares el mismo ritmo de producción que el que imprimen las máquinas de moldear.

En los moldes perdidos, la arena debe ser contenida en un recipiente adecuado que soporte la fuerza de compresión de la arena y la presión metalúrgica que ejerce el metal líquido en el acto de la colada. Dentro de estos pueden distinguirse:

1. **Moldeo descubierto,** cuando la producción o huella en la cual se verterá el metal líquido se práctica en el suelo de la fundición y la cara superior de la pieza queda al aire. Este sistema se aplica a piezas de poca importancia en las cuales es indiferente que la cara superior resulte irregular. Los lingotes de fundición, los armazones para moldes, etc. se moldean descubiertas.

2. **Moldeo en fosa,** cuando la reproducción se efectúa en una cavidad o fosa en el pavimento del taller. El molde en fosa se completa siempre con una caja superior que cierra el molde. Es un sistema muy conveniente para fundir piezas de gran tamaño.

3. **Moldeo en caja,** cuando la reproducción se efectúa en la arena contenida en una caja compuesta de dos o más partes de modo que pueda abrirse y retocarse con facilidad.

Es un sistema mas usado, que se adapta a cualquier clase de piezas, pero requiere cajas adecuadas.

4. Moldeo en bloque de arena, cuando la caja se emplea solo para hacer el molde y después se quita de modo que el metal líquido se vierta en el bloque de arena.

5. Moldeo con machos, cuando la reproducción se efectúa con machos y piezas dispuestos en una caja, en una fosa o en un cajón . Es un sistema adecuado para piezas complicadas y para el moldeo con arena.

**EN LOS MOLDES PERDIDOS DE ARENA PUEDE ATACARSE DE DIVERSAS MANERAS.**

a) A presión cuando se dispone en torno al modelo y en la caja una cierta cantidad de arena suelta para irla atacando en la medida y dirección adecuadas.

**Este atacado puede efectuarse:**

- Directamente con la mano
- Usando atacadores de mano, neumáticos o eléctricos.
- Con una máquina accionada a mano, palanca, pedal o similar
- Por fuerza hidráulica o neumática.

b) Por sacudimiento o por vibración cuando una vez colocada la arena en torno al modelo dentro de la caja, se somete el conjunto a una serie de sacudidas o de vibraciones que asientan los granos de la arena.

c) Por sacudimiento (o vibración) y presión combinadas.

d) Por proyección centrifuga, cuando la arena se proyecta contra el modelo dentro de la caja mediante una rueda que gira dentro de una caja provista de una abertura tangencial.

e) Por proyección neumática, cuando la arena se proyecta por medio de aire comprimido. Es el sistema característico de ciertas máquinas modernas para hacer machos que, por su velocidad de acción se denominan máquinas de disparar hoyos.

#### REGLAS BÁSICAS DEL DISEÑO DE MODELOS.

Aún cuando un modelo se usa para producir piezas coladas de dimensiones específicas, este no tiene las mismas dimensiones que la pieza. Para el diseño y fabricación de los modelos, se considera un número importante de tolerancias y reglas que deben incorporarse para tener piezas dimensionalmente correctas. Los factores que por razones metalúrgicas y mecánicas deben considerarse siempre son las siguientes:

##### A. CONTRACCIÓN.

La dimensión del modelo debe corregirse debido a la contracción que sufre el metal de la pieza al pasar del estado líquido al sólido y la contracción dentro de el estado sólido hasta llegar a la temperatura ambiente. La contracción total es volumétrica pero su corrección es expresada generalmente en forma lineal.

La contracción puede variar desde una cantidad despreciable hasta cifras de 3 a 5 % dependiendo del tipo de metal y de la naturaleza de la pieza colada. En algunos metales se tienen condiciones muy especiales; por ejemplo en el hierro blanco se tienen una contracción de 1/4" por pie (2%) cuando se cuela la pieza, pero durante el recocido al cual son normalmente sometidas, estas piezas crecen alrededor de 1/8" por pie resultando una concentración neta de 1/8 " por pie (1 %).

El hierro dúctil o grafitesferoidal puede solidificar con una contracción de 1/4 a 1/8" por pie (2 a 1%) dependiendo del grado de grafitización obtenido (a mayor grafitización menor contracción).

Para evitar el cálculo continuo de la contracción en la fabricación de modelos los modelistas hacen uso de las reglas de contracción en la cuales por ejemplo, cada pie marcado es 1/8" más grande que la dimensión normal (1%).

#### B. TOLERANCIA PARA MAQUINADO.

La tolerancia para maquinado es la dimensión adicional en una pieza colada que asegura la obtención del material suficiente para maquinado. Esta tolerancia esta influida por el tipo de metal, el diseño de la pieza y los métodos de moldeo, colada y limpieza.

En general la tolerancia para maquinado puede considerarse mínima si las superficies a maquinarse quedan enteramente en la parte inferior del molde ya que las variaciones, dimensiones y otros defectos son normalmente de menor importancia en esa parte.

### C. ÁNGULO DE SALIDA DEL MODELO.

Es aquel ángulo suministrada a las superficies verticales o esencialmente normales a la línea de partición del modelo, para facilitar la extracción o separación del modelo y molde a fin de evitar agrietamiento o desgaste de este.

Cuando los modelos están bien terminados, las superficies pulidas y los sistemas de guías exactos además de que el moldeo se haga a máquina, hay probabilidad de poder trabajar con ángulos de salida pequeños.

Dependiendo del tipo de modelos y sistema de moldeo empleado se usan ángulos de salida de 1° a 3° en arena verde, en caja caliente de 30' a 1° 30' y en sistemas de cascara (shell) de 15' a 30' - 1°.

En las plantillas o portadas de corazones y moldes se dejan ángulos de salidas generalmente entre 10 a 15°.

Sin embargo, por ejemplo, en el caso de moldes, las superficies inferior y superior afectadas por el ángulo de salida no deben contacto entre sí, por lo que generalmente se deja un claro de 0.030".

### D. TOLERANCIA DIMENSIONAL

Es la variación que puede permitirse en las dimensiones de las piezas, la cual depende aparte del modelo en sí, del sistema de moldeo empleado. Esta tolerancia generalmente se da en función de los límites mínimos y máximos permisibles en una dimensión determinada.

Una regla común establece que la tolerancia debe ser cuando menos igual al 50% de la tolerancia dada por contracción. Sin embargo en ocasiones especiales debido a la experiencia en la fabricación de una determinada pieza pueden establecer tolerancias menores, de común acuerdo entre fundidor y comprador de las piezas coladas.

#### E. CONFORMACIÓN POR DEFORMACIÓN.

Ciertas piezas como placas y formas del tipo "V", algunas veces se distorsionan cuando se reproducen a partir de un modelo perfectamente recto. En esos casos el modelo se puede hacer distorsionado a propósito en el sentido contrario a la deformación de esta manera se obtiene una pieza dentro de especificación de forma y tamaño.

#### F. COLOR.

Se han recomendado colores de norma para modelos de madera como una forma de mejor control en su uso. El sistema de colores adaptado por la AFS es la siguiente:

**NEGRO.-** Las superficies de las piezas que van a quedar sin ser sometidas al proceso de maquinado.

**ROJO.-** Las superficies que van a maquinarse.

**AMARILLO.-** Las plantillas para corazones, los asientos para plantillas de corazones.

**FRANJAS ROJAS SOBRE FONDO NEGRO.-** Para piezas sueltas.

**FRANJAS NEGRAS DIAGONALES SOBRE FONDO AMARILLO.-** Los tapones, los cuales son partes de un modelo que forman una cavidad la cual se ha de llenar con arena antes del colado.

## **MATERIALES USADOS EN LA FABRICACIÓN DE LOS MODELOS**

Pertenecen a 4 grupos: Maderas, Metales, Plásticos y otros.

**A. MADERAS.-** Duras.- Maple, encino y ébano.

Blandas.- Pino, cedro y caoba.

La utilización de cada uno de estos tipos de maderas está en función de la cantidad de piezas que se harán con el modelo. Las maderas duras tienen una magnífica resistencia a la abrasión, sin embargo, como inconvenientes se tienen sus fragilidad y la dificultad para ser trabajadas.

Toda la madera que se emplee para la fabricación de modelos deberá estar perfectamente sazonada o estufada y almacenarse para impedir la reabsorción de agua.

Es extremadamente importante mantener la humedad en la madera, en un valor bajo y constante para impedir el gabeo, el hinchamiento y las costosas reparaciones que tengan que hacerse a los modelos, durante su uso y aún antes, en lo que toca a corrección dimensional.

Los modelos sueltos son generalmente de construcción de madera, montados en una placa metálica o en otras completamente de metal. Los modelos maestros si son hechos generalmente de madera.

**B. METALES.** Los metales más usuales en la fabricación de modelos son:

Hierro colado, bronce, aluminio y magnesio; en ocasiones se utilizan también aleaciones plomo - bismuto

Considerando el sistema de moldeo en verde, a máquina y dependiendo del tipo de aleación en el metal se tienen las siguientes cantidades prácticas del número de moldes que pueden hacerse a partir de modelos de diferentes metales, sin que estos sufran deformaciones, que excedan de 0.1 0".

Hierro colado	90,000 a 140,000 moldes
Bronce	70,000 a 120,000 moldes
Aluminio	40,000 a 110,000 moldes
Magnesio	50,000 a 70,000 moldes

Considerando las cifras mencionadas, se recomienda la utilización del hierro colado por su resistencia a la abrasión, a la deformación y al hojamiento.

Por lo que respecta al aluminio, existe una variedad grande de aleaciones de este metal que pueden utilizarse para fabricar moldes, de aluminio, alto silicio, etc.

El magnesio a pesar de ser un material inflamable en ocasiones es preferido sobre otros por su gran maquinabilidad, tenacidad y relativa alta resistencia a la abrasión.

### **C. PLÁSTICOS.**

Los más usuales en la fabricación de modelos son las resinas epóxicas y la resina poliéster reforzada con fibra de vidrio. Otras son el plástico acrílico, el polietileno, el estireno, el teflón y el acetato.

La resistencia a los agentes químicos y a los solventes, su moldeabilidad y propiedades antifricción hacen de la fibra de vidrio y de las resinas epóxicas materiales muy adecuados para la fabricación de modelos.

Algunos modelos hechos con resinas epóxicas resisten hasta 40,000 moldeadas sin presentar alteraciones dimensionales.

### **D. OTRAS.**

Entre estos materiales se pueden mencionar la cera, el yeso, el concreto, el barro y el más moderno, la espuma plástica. El uso de cada uno de estos materiales es bastante específico y depende del tipo tamaño y de la cantidad de piezas por hacerse.

### **CONSEJOS PRÁCTICOS PARA EL DISEÑO DE UN MODELO.**

Son 5 puntos esenciales que deben seguirse:

- 1) Conocer perfectamente la forma de la pieza ya sea partiendo de un dibujo o de una muestra.**
- 2) Determinar la línea de partición del modelo.**

**3) Determinar el número de corazones necesarios para reproducir la forma de las piezas.**

**4) Determinar la línea o líneas de partición de las cajas de corazón.**

**5) Elegir el tipo de material de que se harán tanto el modelo como las cajas de corazones. (esto en función de la cantidad de piezas a producirse).**

#### I.4. PROPIEDADES MECÁNICAS Y APLICACIONES DEL HIERRO GRIS.

Desde el punto de vista de la ingeniería, la clasificación más importante de los hierros grises, es la utilizada en la ASTM especificación A48.

Las piezas fundidas de hierro gris se clasifican en siete clases (números 20, 25, 30, 35, 40, 50 y 60).

Que dan la mínima resistencia tensil de las barras de prueba en miles de Lb/ pulg.<sup>2</sup>; por ejemplo el hierro gris clase 20 tendría una resistencia tensil mínima de 20 000 Lb/Pulg.<sup>2</sup>; los de la clase 30, 30 000 Lb/pulg.<sup>2</sup>, la tabla (2) muestra las propiedades mecánicas típicas de las barras de prueba de hierro estándar en el fundido.

CLASE ASTM	RESISTENCIA TENSIL Lb/Pulg <sup>2</sup>	RESISTENCIA COMPRESIVA Lb/Pulg <sup>2</sup>	RESISTENCIA TORSIONAL A LA FATIGA Lb/Pulg <sup>2</sup>	MÓDULO DE ELASTICIDAD		LÍMITE A LA FATIGA DIVERSIDA POR PULGADA Lb/Pulg <sup>2</sup>	RESISTENCIA TRANSVERSA DE UNA BARRA DE 1.3 PULO DE DIÁMETRO Y 16 PULO DE LONGITUD Lb	BHN
				TENSION	TORCION			
20	22 000	83 000	26 000	62.140	3.834	10 000	1 150	124
25	28 000	97 000	32 000	113.148	6.640	11 200	1 193	174
30	31 000	109 000	40 000	135.166	5.346	12 000	2 212	201
35	36 500	124 000	48 000	145.172	5.349	15 000	2 250	212
40	42 500	140 000	57 000	162.200	6.478	18 500	3 173	215
50	52 500	164 000	73 000	186.228	7.240	21 500	340	252
60	62 500	187 500	88 500	206.235	7.843	24 500	3 700	302

TABLA No. 2 propiedades típicas mecánicas de la barra de prueba estándar de hierro gris, en la condición de fundido.

La resistencia tensil es importante al seleccionar un hierro gris para piezas sometidas a cargas estáticas indirectas de tensión o flexión. Tales piezas incluyen recipientes para soportar grandes presiones, cajas, válvulas, accesorios y palancas.

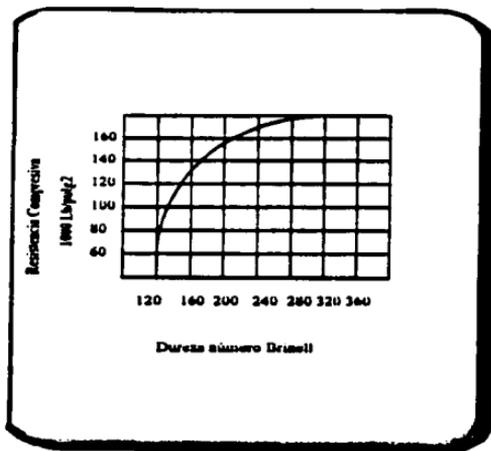
Los hierros con una resistencia a la tensión superior a 40, 000 Lb/pulg<sup>2</sup> generalmente se consideran "hierros de alta resistencia", siendo un poco más caros de producir y más difíciles de maquinar.

Los hierros grises no exhiben un punto de cedencia bien definido como lo hacen la mayoría de los aceros dulces. La curva esfuerzo-deformación no muestra una porción rectilínea, lo cual impide determinar un modelo de elasticidad definido.

Los métodos usuales son determinar el módulo "relativo" de 25% de la resistencia tensil esperada, del módulo "tangente" trazando una línea tangente a algún valor de esfuerzo dado. El porcentaje de elongación es pequeño para todos los hierros fundidos, no excediendo de 3 a 4%, y la reducción de área es demasiado pequeño para ser apreciable.

La resistencia comprensiva es importante cuando el hierro gris se utiliza para cimentaciones o soportes de maquinaria, la resistencia comprensiva del hierro gris es mucho más grande que su resistencia tensil y en gran parte, es una función de la resistencia al corte. La falla en compresión generalmente ocurre a lo largo de un plano oblicuo, a menos que la muestra sea suficientemente larga para permitir la falla de flexión.

La dureza de hierro gris es resultado promedio del grafito suave en el hierro y la matriz metálica. La variación en tamaño y distribución de grafito causará amplias variaciones en dureza (particularmente dureza Rockwell). A continuación la figura 16 muestra la correlación general entre la dureza Brinell y la resistencia tensil y dureza, que la resistencia compresiva suele aumentar con el incremento de dureza y no es influida grandemente por las variaciones microestructurales como es la resistencia tensil.



**FIG. 15. Correlación general entre Dureza Brinell y resistencia compresiva.**

La microestructura es el factor principal para determinar la dureza del hierro gris la tabla No. 3 indica el amplio intervalo de números de dureza Brinell obtenibles con varias estructuras de hierro. La composición también ejerce un considerable efecto sobre la dureza, aumentar los contenidos de carbono y silicio dará como resultado una disminución de la dureza, aunque el efecto no está marcada sobre la dureza como lo es sobre la resistencia tensil.

TIPO	BHN
	110-140
HIERRO GRIS FERRITICO (RECOCIDO).	
HIERRO AUSTENITICO.	140-160
HIERRO GRIS SUAVE.	140-180
HIERRO PERLITICO.	160-220
HIERRO PERLITICO ALEADO CON BAJO CONTENIDO ALEADO.	200-250
HIERRO REVENIDOS MARTENSITICOS.	260-350
HIERROS MARTENSITICOS.	350-450
HIERRO BLANCO, SIN ALEAR (DE ACUERDO CON EL CONTENIDO DE CARBONO).	280-500
HIERRO ALEADO BLANCO.	450-550
HIERRO MARTENSITICO BLANCO.	550-700
HIERRO NITRURADO (SOLO SUPERFICIE).	900-1000

TABLA No. 3 Dureza Brinell de las piezas fundidas de hierro clasificadas por microestructura general.

Debido que el hierro gris es el tipo de fundición menos costoso, siempre debe considerarse primero cuando se va a seleccionar un metal fundido, debe escogerse otro metal sólo cuando las propiedades mecánicas y físicas del hierro gris sean inadecuadas.

El hierro gris se emplea para guarniciones y marcos alrededor de maquinaria peligrosa. Muchos tipos de cajas para engranes, recinto para equipo eléctrico, cajas para bombas y cajas para turbinas de vapor se funden en hierro gris debido a su bajo costo.

#### **HIERRO FUNDIDO MOLDEADO EN FRÍO.**

Las piezas fundidas de hierro moldeadas en frío se hacen vaciando el metal fundido contra un enfriador metálico, lo cual da como resultado una superficie de hierro fundido blanco.

Esta superficie dura o porción externa de hierro resistente a la abrasión es soportada por un núcleo más suave de hierro gris. Esta estructura externa-interna se obtiene mediante un cuidadoso control de la composición aleada total y un ajuste en la velocidad.

La solidificación comienza primero y la rapidez de enfriamiento es mayor donde el metal fundido está en contacto con las paredes metálicas del molde. La rapidez de enfriamiento decrece conforme se aproxima al centro de la pieza. Una pieza fundida de hierro con superficie de hierro blanco puede producirse ajustando la composición de hierro de manera que la rapidez normal de enfriamiento en la superficie sea apenas lo suficientemente rápida para producir hierro blanco, mientras que la rapidez de enfriamiento menor por debajo de la superficie producirá hierro manchado o gris.

Si son las áreas seleccionadas van a ser de hierro blanco, es práctica común utilizar una composición que solidificaría como hierro gris y emplear camisas metálicas (enfriadores) para acelerar la rapidez de enfriamiento de las áreas seleccionadas.

La profundidad de la capa de hierro blanco se controla mediante delgadas placas de metal siempre que se desee una fina capa de hierro blanco y grandes placas de metal donde es necesario un enfriado rápido más profundo.

El hierro gris se emplea para guarniciones y marcos alrededor de maquinaria peligrosa. Muchos tipos de cajas para engranes, recinto para equipo eléctrico, cajas para bombas y cajas para turbinas de vapor se funden en hierro gris debido a su bajo costo.

#### **HIERRO FUNDIDO MOLDEADO EN FRIO.**

Las piezas fundidas de hierro moldeadas en frío se hacen vaciando el metal fundido contra un enfriador metálico, lo cual da como resultado una superficie de hierro fundido blanco.

Esta superficie dura o porción externa de hierro resistente a la abrasión es soportada por un núcleo más suave de hierro gris. Esta estructura externa-interna se obtiene mediante un cuidadoso control de la composición aleada total y un ajuste en la velocidad.

La solidificación comienza primero y la rapidez de enfriamiento es mayor donde el metal fundido está en contacto con las paredes metálicas del molde. La rapidez de enfriamiento decrece conforme se aproxima al centro de la pieza. Una pieza fundida de hierro con superficie de hierro blanco puede producirse ajustando la composición de hierro de manera que la rapidez normal de enfriamiento en la superficie sea apenas lo suficientemente rápida para producir hierro blanco, mientras que la rapidez de enfriamiento menor por debajo de la superficie producirá hierro manchado o gris.

Si son las áreas seleccionadas van a ser de hierro blanco, es práctica común utilizar una composición que solidificaría como hierro gris y emplear camisas metálicas (enfriadores) para acelerar la rapidez de enfriamiento de las áreas seleccionadas.

La profundidad de la capa de hierro blanco se controla mediante delgadas placas de metal siempre que se desee una fina capa de hierro blanco y grandes placas de metal donde es necesario un enfriado rápido más profundo.

La profundidad de la capa de hierro blanco decrece y la dureza de la zona enfriada rápidamente aumenta de acuerdo con el incremento en contenido de carbono.

Como el silicio es un grafitizado, la profundidad de enfriado rápido disminuye al aumentar el contenido de silicio.

La adición de manganeso disminuye la profundidad de la capa de hierro blanco hasta que el azufre ha sido neutralizado mediante la formación de sulfuro de manganeso. Por encima de esta cantidad, de manganeso incremento la profundidad del enfriado rápido y de la dureza.

El fósforo disminuye la profundidad de la capa de hierro blanco. Con carbono y silicio constante, un incremento de 0.1% de fósforo disminuirá la profundidad de la capa de hierro blanco en aproximadamente 0.1 de pulgada.

El níquel reduce la profundidad de la capa de hierro blanco y su influencia es aproximadamente la cuarta parte de la del silicio. La reducción en profundidad de enfriado rápido se acompaña por un incremento gradual en dureza hasta que el contenido de níquel alcanza el 5% aproximadamente.

El níquel también refina la estructura de carburo de la capa y la estructura de hierro gris situado por debajo de la capa de hierro blanco.

El cromo se utiliza en pequeñas cantidades para controlar la profundidad de la capa de hierro blanco ; 0.01% de cromo neutralizará 0.015% de silicio aproximadamente. Debido a la formación de carburo de cromo, el cromo se utiliza en cantidades de 1 a 4 % en hierro moldeado en "frío" para aumentar la dureza y mejorar la resistencia a la abrasión . También estabiliza el carburo y suprime la formación de grafito en grandes secciones.

Cuando se añade, en cantidades de 12 a 35%, el cromo proporcionará resistencia tanto a la corrosión como a la oxidación a temperaturas elevadas.

Al añadir un 4% de cobre, disminuye la profundidad de la capa de hierro blanco; pero si excede esta cantidad, la profundidad de la capa y la dureza aumentarán. El cobre también reduce la proporción de la porción "manchada" a la porción de hierro blanco.

El molibdeno es sólo un tercio tan efectivo como el cromo, incrementando la profundidad de la capa de hierro blanco; sin embargo, mejora la resistencia de la cara recubierta en la capa de hierro blanco al agrietamiento por calor y desprendimiento de metal en capas; picaduras por ataque químico y descascaramiento.

Una profundidad constante de la capa de hierro blanco se puede obtener utilizando para ello una combinación de elementos de aleación que tengan efectos opuestos.

Como el níquel reduce la profundidad de la capa, para neutralizar el níquel y da como resultado una profundidad constante de la capa de hierro blanco

La proporción normal empleada para este propósito es de tres partes de níquel por una de cromo.

Piezas fundidas de hierro moldeados en "frío" se utilizan para ruedas de carro de ferrocarril, rodillos de trituración, zapatas de estampado y dados, arados, ruedas dentadas y muchas otras piezas de maquinaria diseñadas para trabajo pesado.

La siguiente tabla No. 4 nos muestra la composición y dureza de piezas típicas moldeadas en frío.

APLICACIONES	C	Si	Mn	DUREZA
RUEDAS DE CARRO	3.35	0.50	0.55	62 ESCLEROSCOPIO
ARADOS	3.40	1.35	0.60	514 BRINELL
PLATOS DE HIERRO	3.50	1.00	0.60	534 BRINELL
RUEDAS DENTADAS	3.30	1.80	0.65	477 BRINELL

Tabla No. 4

## CAPITULO II.

### CONSTITUCIÓN FUNCIONAMIENTO DE UN HORNO DE CUBILOTE DE 1.5 TONELADAS DE CAPACIDAD POR HORA.

## CONSTITUCIÓN FUNCIONAMIENTO DE UN HORNO DE CUBILOTE DE 1.5 TONELADAS DE CAPACIDAD POR HORA.

El horno de cubilote usado para la fundición del hierro colado es el cubilote de manga o cúpula. Este tipo de horno si bien utiliza los mismos principios que los hornos antiguos, la experiencia y las condiciones de trabajo han sugerido algunas modificaciones importantes las cuales nos han ayudado a conseguir un mejor funcionamiento, un buen balance térmico y obtener una duración mayor en el revestimiento interno.

Este cubilote esta compuesto por las siguientes partes:

- a) Envoltura cilíndrica del eje vertical en chapa de acero de 1/4 de pulgada de espesor.
- b) Revestimiento interno de material refractario doble de 18 cm.
- c) Chimenea y su correspondiente cobertura.
- d) Boca de carga amplia y provista de una plataforma como soporte para el alimentador mecánico.
- e) Cámara de viento anular de placa delgada de 1/4 de pulgada que circunda del todo a la envoltura y dentro de la cual pasa el viento y se distribuye en las toberas.
- f) Toberas formadas con resina adaptadas al revestimiento, conducen el aire al interior del cubilote con un ángulo de 10° de inclinación, con la finalidad de que el aire alimentado sea dirigido y distribuido hacia la carga de chatarra y el carbón en combustión, con lo cual se conserva mayor tiempo el revestimiento de refractario interno y facilita una

mejor combustión. Dicha toberas provistas de mirillas de metal de 13X12 cm. para la vigilancia de la combustión.

g) Evacuador de escoria. Abertura dispuesta a unos 40 cm. por debajo del plano de las toberas de longitud de 55 cm. que esta destinada a la evacuación de la escoria, la cual por ser más ligera, flota sobre el hierro colado líquido.

h) Puerta lateral del encendido, de dimensiones de 15X 15 cm. La cual se cierra antes del comienzo de la fusión, se rehace el murete que completa el revestimiento refractario.

i) Canal de colada. De plancha de hierro de 3/16 pulgadas, revestido con masa refractaria en parte de la piquera con una inclinación de 15°, longitud de 53 cm y altura de 13 cm.

j) Solera de acero o fondo del cubilote de 3/4 de pulgada de espesor.

k) Plancha base de la envoltura; de placa de un espesor de 1 1/2 pulgadas. En su centro hay una abertura de un diámetro de 70 cm que puede cerrarse con un portillo de descarga, de dos batientes que se dirigen hacia abajo quitando una punta.

l) Columna de apoyo; 2 cuadrados de hierro, dimensiones 10X10 cm y espesor de 3/16 pulgadas y de muros para cimiento de 32X32 cm.

m) Crisol, es la parte inferior del cubilote comprendido entre la solera y el plano de las toberas de 50 cm de altura.

n) Alimentador mecánico, el cual alimenta 320 Kg.

o) Ventilador, marca vida 3059 R.P.M., con un impulsor de paletas acoplado a un motor por poleas y bandas con un caballaje de motor de 10 HP y ductos de salida con un diámetro de 25 cm.

A continuación se tienen las especificaciones del hierro gris bajo las cuales se basa la compañía Tecno - Manufacturas Rakwe S. A. de C. V. ( Ver tabla 5 y 6)

<b>CARBÓN</b>	<b>MÍNIMO (%)</b>	<b>MÁXIMO (%)</b>
EQUIVALENT E	3.9	4.15
TOTAL	3.1	3.4
SILICIO	1.9	2.3
MANGANESO	0.4	0.09
AZUFRE		0.15
FÓSFORO		0.15
CROMO		0.20
DUREZA	187 HB	241 HB
RESISTENCIA	30 000 Lb/pulg <sup>2</sup>	

Tabla No. 5

MICROESTRUCTURA		
MATRIZ PERLITICA		PERLITICA
PERLITA		95% MIN.
FERRITA		5% MAX.
CEMENTITA		1-2% MAX.
ESTEADITA		2% MAX.
TAMANO DE GRAFITO		4.5%
TIPO	A	85% MIN.
DE	B,D	15% MIN.
GRAFITO	C,E	0%

Tabla No. 6

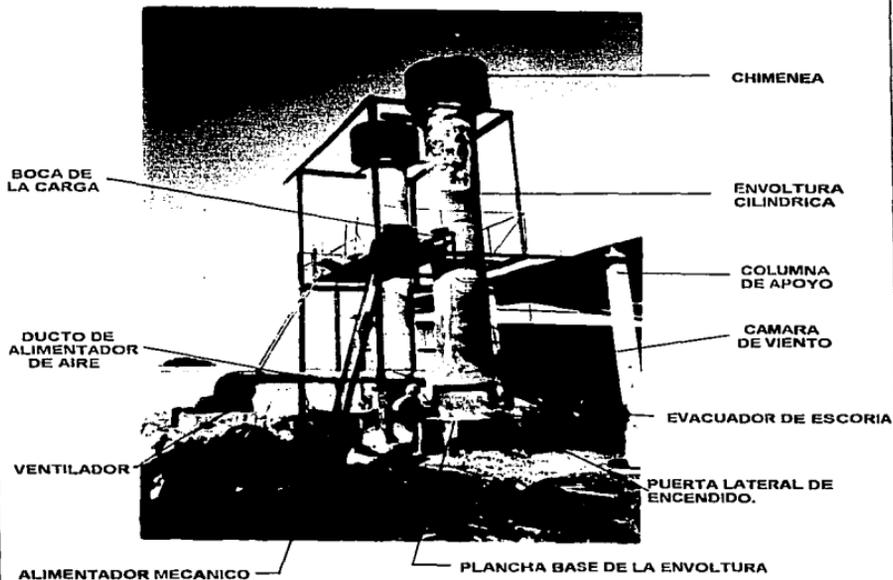
A continuación se muestra la tabla No. 7, de los tiempos de carga de Carbón-Chatarra-Sangrado en un proceso completo de fusión.

CARGA	C	A	R	B	O	N	C	H	A	T	A	R	R	A	SANGRADO
No.	Kg.			TIEMPO			Kg.			TIEMPO			TIEMPOS		
1	35					8.08	250								8.42
2	"					8.40	"								8.48
3	"					8.45	"								8.52
4	"					8.49	"								8.57
5	"					8.54	"								9.08
6	"					9.11	"								9.13
7	"					9.26	"								9.24
8	"					9.48	"								9.29
9	"					10.00	"								9.48
10	"					10.12	"								9.53
11	"					10.15	"								9.59
12	"					10.20	"								10.03
13	"					10.30	"								10.09
14	"					10.40	"								10.13
15	"					10.50	"								10.19
16	"					10.59	"								10.23
17	"					11.11	"								10.27
18	"					11.21	"								10.30
19	"					11.30	"								10.36
20	"					11.40	"								10.40
21	"					12.01	"								10.47
22	"						"								10.44
23							"								10.47
24							"								10.54
25							"								11.01
26							"								11.07
27							"								11.03
28							250								11.08
29							"								11.16
30							"								11.19
31							"								11.25
32							"								11.30
33							"								11.25
34							"								11.29
35							"								11.38
36							"								11.40
37							"								11.37
38							"								11.46
							"								11.48
							"								11.55
							"								12.02
							"								12.08
							"								12.14
							"								12.20
							"								12.25

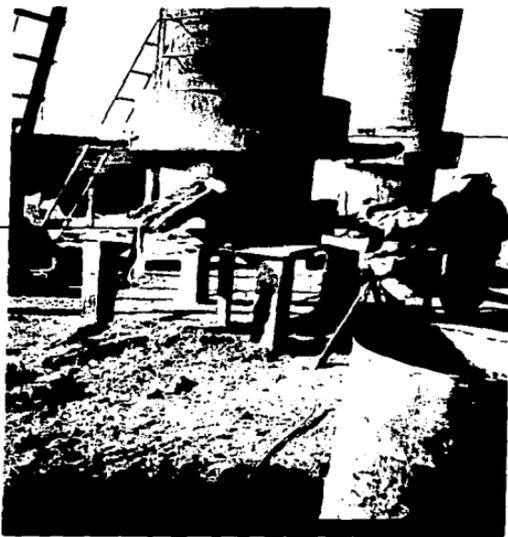
NOTA:

En cada sangrado se agrega inoculante (escoriador) a la olla para que salga a la superficie la escoria.

## HORNO DE CUBILOTE O DE MANGA Y SUS PARTES QUE LO COMPONEN



**SALIDA DE  
ESCORIA**



**PORTILLA  
DE  
TOBERAS**

## LIMPIEZA DE TOBERAS



## LIMPIEZA DE TOBERAS



## COMIENZO DE LA SALIDA DEL METAL



## LLENADO DE MOLDES



## VENTILADOR Y DUCTOS DE ALIMENTACION DE AIRE



## VACIADO DEL HORNO AL FIN DE LA FUSION.

EVACUADOR  
DE ESCORIA



CANAL  
DE COLADO

RESIDUO  
DE CARBON  
MINERAL.

## ALIMENTADOR MECANICO



## **II. 1. DIMENSIONES.**

**El tamaño y dimensiones de este cubilote van acordes a la capacidad del mismo, manejando los siguientes valores:**

### **1.- DIÁMETRO.**

**Diámetro interior 95 cm.**

### **2.- ESPESOR DEL REVESTIMIENTO.**

**El espesor del refractario es de 18 cm, para el caso de este horno, es un revestimiento de refractario doble para resistir la acción mecánica de la introducción a la carga y reducir la pérdida del calor.**

### **3. LA ALTURA DEL CUBILOTE.**

**Es de 4.80 cm de la plancha base a la boca de carga.**

### **4. NUMERO Y SECCIÓN DE LAS TOBERAS.**

**Este horno consta de cinco toberas con un ángulo de inclinación de 10, para evitar que las invadan la escoria, el metal líquido, además de dirigir totalmente el aire hacia la carga en combustión y no hacia las paredes del refractario.**

### **5. TUBERÍA Y CÁMARAS DE AIRE.**

**Tuberías casi rectas, de sección redonda de diámetro de 25 cm.**

## 6. LA ALTURA DEL CRISOL.

La altura de este crisol es de 50 cm debido a su capacidad de 1.5 ton/hora.

## II. 2. FUNCIONAMIENTO DEL CUBILOTE.

### ENCENDIDO.

Se alimenta 320 Kg. de carbón americano, para obtener una cama con una altura de 1.10 m, con las mirillas de las toberas, la piquera de colada y la de escoria se introduce un soplete de gas y se enciende el ventilador para avivar el fuego en el interior del horno y desulfurar. El carbón hasta que se vea la flama en la boca de alimentación.

Se apaga el ventilador, se taponea la portilla de encendido y esperamos un tiempo de media hora, si es con leña, hora y media si es con carbón, para que el horno alcance la temperatura de 1850° C para comenzar con la alimentación de la carga.

Para el inicio de la introducción de la carga se hace de la siguiente manera.

Se carga 250 Kg. de chatarra en pedazos de 8 - 10Kg. Los cuales no serán irregulares ni demasiado macizos, a continuación de esta carga metálica se procede a alimentar 35 Kg. de carbón con silicio y ferromanganeso, se alimenta la segunda carga metálica con el mismo peso y así alternamente, para que se realice la combustión del metal y se mantenga la cama del carbón.

Posteriormente se vuelve a encender el ventilador manteniéndose hasta el termino de la fusión, en un tiempo de 9 minutos posteriores se presenta la arcilla, 5 minutos después se procede a realizar el primer sangrado el cual es utilizado para el calentamiento de las dos olas de vaciado, por encontrarse todavía el metal frío.

### **CAPITULO III.**

## **FABRICACIÓN DE MOLDES PARA VACIADO.**

## FABRICACIÓN DE MOLDES PARA VACIADO

### III. 1. PREPARACIÓN DE ARENAS.

Especificaciones del equipo de mezclado.

- a) Capacidad 200 Kg.
- b) Diámetro 1.30 mts.
- c) Altura 1.50 mts.
- d) Paletas de acero templado.
- e) Motor de 8 HP.

La preparación de arena para el moldeo según su utilidad se clasifican en dos categorías:

#### CATEGORÍA I.- ARENAS PARA CAREO.

**FORMA DE PREPARACIÓN.** Se cargan 200 Kg. de arena 46-56 AFS, procesada en su equipo de mezclado, se agregan 5 Kg de bentonita sodica, 5 Kg de bentonita calcica, 25 Kg de arena fina y Carbón marino.

Se mezclan estas cargas por espacio de 15 minutos.

Este tipo de arena es utilizada para la definición de las dimensiones de la pieza a realizar.

## EQUIPO DE MEZCLADO



**NOTA:** Para el careo, cernir la arena en una malla fina.

**CATEGORÍA II. ARENA PARA RELLENO.**

**Forma de preparación.** Se cargan 200 Kg. de arena procesada, se agregan 5 Lts. de agua y se mezcla por espacio de 10 minutos.

**Este tipo de arena es utilizada para completar el molde a realizar.**

### **III.2. PROCESO DE FABRICACIÓN DE MOLDES PARA VACIADO.**

Para este proceso utilizan maquinas neumáticas para la fabricación de moldes, los cuales dependiendo de la pieza a realizar son las placas de moldeo que deben de utilizarse para esta actividad, la cual consta de los siguientes pasos:

- a) Se coloca la placa de moldeo correspondiente en la base del equipo del moldeo, la cual entra en unas guía para efectos de alienación con la placa superior.
- b) Se coloca la caja de madera correspondiente, ya que dependiendo de las dimensiones de la pieza a moldear es la caja a utilizar, se fija por medio de dos abrazaderas, una de cada costado para formarla.
- c) Se aplica polvo separador, para evitar tener problemas en el desmoldeo y no se nos pegue el molde en las placas de moldeo.
- d) Se coloca el cernidor (malla fina), para cernir la arena, que es utilizada para el careo, hasta cubrir la figura del moldeo.
- e) Se agrega arena a la caja de moldeo hasta la mitad con arena limpia sin cernir y se pisona para que vaya tomando su consistencia.
- f) Se llena completamente la caja de moldeo, se coloca la base de madera sobre la arena para, posteriormente girar la parte superior de nuestro equipo (plancha) para aplicar presión y compactar completamente la arena contenida en nuestra caja de moldeo y definir nuestra pieza a fundir.
- g) Con nuestra espátula o cuchara se delinear los contornos de nuestro molde y se sopletea con nuestra pistola de aire, para dejar bien definido nuestro molde.

## EQUIPO NEUMATICO DE MOLDEO



## APLICACION DE POLVO SEPARADOR



## CERNIDO DE ARENA PARA CAREO



**APLICACION DE PRESION,  
PARA VIBRACION Y ACOMODO  
DE LA ARENA.**



## PISONADO DE LA ARENA



## APLICACION DE PRESION CON LA PLANCHA SUPERIOR.



**APLICACION DE PRESION, PARA  
SEPARACION DE MOLDE Y PLACA  
DE MOLDEO.**



## DELINIAR CONTORNOS DE MOLDE





VEBEDERO

SALIDA DE  
GASES

## COLOCACION DE CORAZONES A MOLDE



### III. 3. PROCESO DE FABRICACIÓN DE MOLDES DE CORAZONES.

Para este proceso se clasifican en dos categorías:

#### CATEGORÍA 1. PROCESO MANUAL.

Material y herramienta:

- Placas de moldeo de aluminio
- Prensa manual.
- Espátula de madera (2 pzas)
- Espátula de metal (1 pza)
- Bote.
- Soplete.
- Guantes de asbesto.
- Martillo de madera.
- Arena.

**El proceso consta de los siguientes pasos:**

**a) Se empalman las 2 partes del molde en sus respectivas guías y se unen.**

**b) Se coloca prensa para cerrar molde y evitar que se abra.**

**c) Se llena el molde con arena, ayudado de la espátula.**

**d) Se realiza el cocido del corazón, colocando el soplete hacia el molde (parte central), por espacio de 74 seg.**

**e) Se coloca el molde en su mesa.**

**f) Se quita prensa.**

**g) Desmoldeo.**

**1. Ayudado de su martillo de madera se golpea el molde suavemente, para despegar el corazón de las cavidades del molde.**

**2.- Se retira los corazones y se acomodan en el lugar asignado.**

**NOTA: Cheque que no se encuentren crudos sus corazones en caso contrario deséchelos.**

**Utilice su equipo de seguridad correspondiente.**

## **CATEGORÍA II. PROCESO SHELL.**

### **Material y Herramienta:**

- Molde.
- Arena.
- Espátula de metal (1 pza)
- Varilla de bronce (1 pza)
- Guantes de asbesto.
- Martillo de bronce o madera (1 pza)

**El proceso consta de los siguientes pasos:**

**a) Pre calentamiento de molde, tiempo 15 min.**

**NOTA: Durante el pre calentamiento se checa mangueras, que no tengan fugas, cierre de molde sin problemas.**

**b) Llenado de depósito de arena.**

**c) Se procede al cierre del molde.**

**d) Se procede al llenado del molde de la siguiente manera:**

- Se gira el molde para que el depósito de arena quede en la parte superior y se aplica presión hasta su llenado, el cual se vera cuando la arena este saliendo del molde.

e) Se deja cocer.

f) Desmoldeo.

- Se separan las cavidades del molde.

- Ayudado de su martillo de bronce, se golpea suavemente el molde para que la pieza salga libremente de la cavidad del molde.

**NOTA:** Se checa que los corazones no queden crudos, en caso contrario deséchelos.

g) Limpiar los orificios del depósito de arena con su varilla de bronce, ya que este orificio debe estar completamente limpio, para el siguiente llenado.

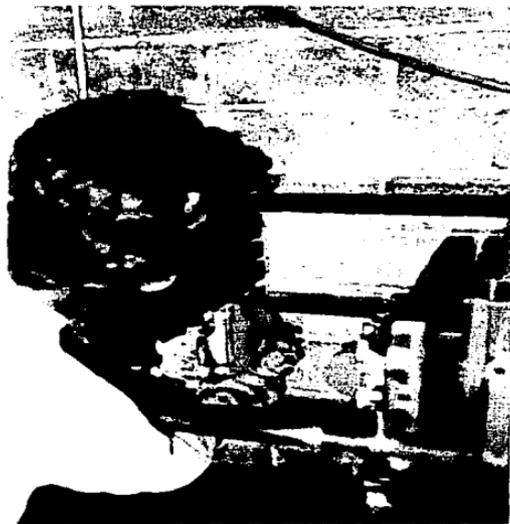
h) Limpieza del molde. Ayudado de su espátula de bronce.

## **FABRICACION DE CORAZONES PROCESO SHELL**



**ABERTURA DE MOLDE**

**FABRICACION DE CORAZONES  
PROCESO SHELL.**



**DESMOLDEO DE CORAZONES**

## **EQUIPO PARA FABRICACION DE CORAZONES PROCESO SHELL**



## CONCLUSIONES.

La realización de este estudio pretende establecer y tener un punto de vista más profundo de los cuidados que debemos tener en un proceso de fundición, para obtener el hierro con las características establecidas y tener una mayor eficiencia del proceso, teniendo lo siguiente:

Este proceso pareciendo sencillo, requiere de cuidados de acuerdo a las condiciones de trabajo ya que cualquier descuido en algunas actividades del proceso afectaría nuestro producto final.

1. La construcción de nuestro horno de acuerdo a la capacidad necesaria.
2. La carga de nuestra cama de carbón la cual debe ser de la cantidad requerida para obtener una altura suficiente de carbón, para realizar eficientemente la fusión.
3. El tipo de chatarra a cargar la cual debe estar dentro de características de peso, dimensiones y libre de impurezas para una buena fusión.
4. La alimentación del aire, la cual debe tener un diámetro bien definido de los ductos de alimentación para tener una buena mezcla en la combustión, debiendo ser constante hasta el término de la fusión.
5. Toberas de diámetro y ángulo de inclinación bien definidos, para dirigir completamente el aire hacia la carga en combustión.
6. El uso del coque americano para la producción de un hierro de calidad, es fundamental debido a las características de este.

**7. El combustible debe almacenarse en un lugar seco, para evitar que penetre humedad, ocasionando que el coque se haga quebradizo y frágil.**

**8. Se recomienda usar pedacería de monoblock como materia prima y chatarra seleccionada para aumentar la calidad de las piezas a producir y evitar la emisión de cenizas de gran tamaño.**

**9. La temperatura dentro del horno es fundamental, por lo que debe ser observada y medida durante el proceso.**

**10. Se recomienda el uso de dos ventiladores, en el caso de fallo, ya que esto ocasionaría el enfriamiento dentro del horno, causando encoronamientos y taponeo de las toberas.**

**11. El revestimiento del Horno deberá revisarse después de cada jornada y repararse cada vez que así se requiera.**

**12. La obtención de muestras para la realización de los análisis químicos y físicos, son importantes para determinar fallas y resultados durante el proceso por lo que se recomienda tomar notas de estos en cada operación.**

**13. El uso de equipos anticontaminantes es indispensable en la aplicación del cubilote, debido a que este es uno de los hornos más contaminantes dentro de los procesos de fundición**

**14. Dentro del proceso de operación deben de tomarse todas las medidas necesarias de seguridad para evitar accidentes.**

**Se incita a las nuevas generaciones a la creación y aplicación de nuevos proyectos de automatización así como equipos anticontaminantes, no solo dentro de los Procesos de fundición sino también en todas las areas dentro de la industria.**

## **BIBLIOGRAFÍA.**

### **TECNOLOGÍA DEL CONTROL DE ARENAS PARA FUNDICIÓN**

**AUTOR: Ing. Víctor M. García Sosa**

**Area fundición. IMIS**

**Saltillo Coahuila.**

**Marzo de 1984.**

### **FABRICACIÓN DE HIERRO, ACEROS Y FUNDICIONES**

**José Apraiz Barreiro**

**1a. Edición 1978**

**URMO S. A. de Ediciones.**

### **PRINCIPIOS DE METALURGIA FÍSICA.**

**Robert E. Reed-Hill**

**2a. Edición.**

**Cia. Editorial Continental S. A.**

### **INGENIERÍA METALÚRGICA (TOMO 11)**

**Raymond A. Higgins 1982**

**7a. Impresión.**

**Editorial Continental S. A.**

**INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA FÍSICA.**

**Sidney H. Avner**

**Editorial Mc. Graw Hill.**

**Segunda Edición.**

**MODELOS PARA FUNDICIÓN**

**Ing. Rolando Baltazar.**

**Julio 1975.**

**Sociedad Mexicana de Fundidores A. C.**