

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

La fundición es una de las profesiones más antiguas, desde hace mucho tiempo el hombre a producido objetos de metal fundido para propósitos artísticos o prácticos, por esta razón , la fundición fue considerada como un arte, ya que el moldeador , sin más ayuda que la de un modelo y algunas herramientas rudimentarias , podía producir piezas muy complejas realizando un trabajo que puede llamarse de escultor. Pero con el crecimiento de la sociedad industrial, la fundición de metales en los últimos años ha tenido una gran evolución.

Actualmente los países europeos ofrecen productos de calidad a bajo precio, esto produce una disminución considerable de fundidoras en los países subdesarrollados, ya que el sector cada vez demanda mejores productos con características técnicas específicas.

La fundición es el proceso de producción de piezas metálicas, este consiste en el calentamiento del metal a una temperatura lo suficientemente alta para transformarlo completamente al estado líquido, después se vierte directamente en la cavidad del molde. En un molde abierto el metal líquido se vacía simplemente hasta llenar la cavidad abierta. En un molde cerrado existe una vía de paso llamada sistema de vaciado que permite el flujo del metal fundido desde afuera del molde hasta la cavidad, este es el más importante en operaciones de fundición. El material fundido adopta la forma de la cavidad del molde, luego al enfriarse la fundición esta se remueve del molde, y posteriormente se realiza el desbaste del metal excedente de la fundición y la limpieza de la superficie. Pero existen constantes fundamentales de operación que se deben considerar para lograr una trabajo exitoso, tales como la velocidad de fusión, el área de las toberas, presión de soplado, altura de la cama de coque y la cantidad adecuada de coque, metal y caliza.

Las piezas metálicas obtenidas por fundición son un componente importante de la mayoría de la maquinaria moderna, así también tienen su aplicación en equipos de transporte, materiales de construcción, herramientas de trabajo, utensilios de cocina, objetos de aviación, objetos artísticos, de entretenimiento, etc. Y la razón de su uso es porque el procedimiento de fundición permite utilizar de modo conveniente algunos metales y aleaciones cuyas características particulares no los hacen aptos para la laminación , la forja o la soldadura. La fundición es, por lo tanto, un proceso fundamental en la industria metálica, que exige una amplia cultura profesional a quien se dedica a ella , pues requiere conocimientos técnicos muy diversos.

Uno de los hornos más utilizados en el proceso de fundición es el horno de cubilote, ya que los costos de producción son bajos en comparación con otro tipo de horno, su operación y control durante el proceso no presentan grandes dificultades, no requiere mayor cantidad de mano de obra y no ocupa mucho espacio.

## **CAPITULO II**

### **HORNO DE CUBILOTE**

#### **2.1. GENERALIDADES**

El horno de cubilote es el más usado en la producción del hierro colado, y también el más antiguo, ya que sus características datan desde el siglo XVIII, durante varias décadas el diseño básico del cubilote no experimento cambios radicales, pero hace poco tiempo ha habido un continuo crecimiento en su uso, y por ende un creciente interés en la forma como efectúa su trabajo, ello a conducido al desarrollo e introducción de diversos dispositivos mejorados; esto ha hecho del cubilote un medio de fusión muy eficiente.

Es un horno que funciona con combustible sólido, su propósito es el aprovechamiento de las chatarras o pedacería de hierro y acero. La carga metálica, el combustible y el comburente están en contacto; lo que permite un intercambio térmico directo y activo, dando lugar a un rendimiento elevado.

##### **2.1.2. DESCRIPCION**

El cubilote consiste en una coraza cilíndrica de acero revestida de materiales refractarios y equipada con una caja de viento y toberas para la admisión de aire , esta reposa verticalmente sobre una placa base sostenida usualmente por cuatro columnas o vigas de acero, las mismas que están ancladas a un cimiento de ladrillo o de hormigón. Cerca del fondo tiene orificios y conductos para sacar el material fundido y la escoria. En la placa base lleva compuertas centradas que pueden abrirse hacia abajo.

##### **a) CIMENTACION**

Puede ser de ladrillo o de hormigón y debe quedar unos 15 cm abajo del nivel del piso de la fundición para que se pueda llenar con arena u otro material aislante de calor, para proteger la zapata de concreto.

##### **b) SOPORTES O PATAS**

Las patas del cubilote están hechas a modo de columnas de acero y deben estar soldadas o atornilladas a la parte inferior de la placa base y muy bien anclada en el piso, su altura varían de acuerdo con la necesidades locales, pero la altura mínima deberá permitir la libre abertura de las puertas del fondo, así como también la facilidad de retirar la descarga del cubilote.

##### **c) PLACA DEL FONDO**

Esta es de acero grueso, con una abertura circular de un diámetro igual a las dimensiones del revestimiento. Debe estar reforzada a los soportes mediante soldadura o con ángulos y placas esquineras de ensamble, en la parte inferior tiene unos ángulos para embisagrar la puerta del fondo, la cual es abatible para que después de un ciclo de

funcionamiento se puedan vaciar todos los residuos acumulados. En el momento en el que se realiza el proceso de fundición, la puerta debe estar apuntalada mediante barras sólidas de acero para que pueda soportar todo el peso de las cargas.

Antes de poner en funcionamiento el horno, el piso o fondo del cubilote, se conforma por apisonado de arena de moldeo sobre la placa desmontable a través de un agujero de limpieza, el fondo debe ser resistente, refractario y disgregable, también debe tener una pequeña inclinación hacia la piquera de sangrado.

#### **d) CORAZA**

La envuelta de acero suele ser de chapa de aproximadamente 3 o 4 mm de espesor, rolada en forma de secciones cilíndricas y remachadas, atornilladas o soldadas unas a otras. En el interior de la coraza, y a intervalos regularmente espaciados, están atornillados unos segmentos en forma de repisa, para soportar el revestimiento. En los hornos más grandes se emplean chapas de hasta 12 mm de espesor.

#### **e) CAJA DE VIENTOS**

Esta situada de 60 a 150 cm sobre la placa base y rodea a toda la envuelta, esta fuertemente soldada a la sección del cuerpo, para eliminar fugas de aire. La caja de vientos posee un ducto ubicado en forma tangencial para que ingrese el aire, el mismo que es suministrado mediante un ventilador o un soplador, hacia el interior del cubilote a través de las toberas. En la parte exterior de la caja de vientos existen mirillas para la vigilancia de la combustión estas tienen un mecanismo que permiten que las cubiertas sean abiertas y cerradas rápidamente; y deben estar completamente selladas para evitar la fuga del aire.

#### **f) TOBERAS**

Se encuentran ubicadas interiormente alrededor de la coraza metálica, conducen el aire al interior del cubilote, deben ser lo suficientemente grandes para suministrar la cantidad necesaria de aire a la cama de coque, las dimensiones de las toberas dependen del tamaño del horno, según los profesionales en esta rama, la suma del área de las toberas debe estar entre el 12.5% - 25%, del área de la sección transversal del cubilote. Las toberas pueden ser redondas cuadradas o rectangulares, también deben tener una inclinación hacia el interior del horno de 7 a 15°. La altura de las toberas debe permitir una amplia capacidad de producción en el crisol, se recomienda de 10 a 20 cm arriba del orificio del escoriador y con respecto al orificio de sangrado debe estar entre 51 a 71 cm arriba.

#### **g) PIQUERAS DE SANGRIA Y ESCORIA**

Por la piquera de sangrado fluye el hierro fundido hasta el caldero de colada, por lo cual su revestimiento es de un material refractario, la altura del orificio de sangrado está entre 10 a 30 cm respecto a la placa base y deberá tener la forma de un cono truncado, con el diámetro mayor hacia el exterior del cubilote, para facilitar la introducción y remoción de los tapones durante la operación de sangrado.

El canal de escoria debe estar situado a igual distancia de las dos toberas adyacentes para evitar que el viento que entra por estas enfríe demasiado la escoria e impida que cole libremente por el agujero destinado a ella, debe estar localizado ligeramente arriba del nivel del hierro, es decir la altura aproximada que alcanza el metal fundido dentro del crisol.

Estos orificios están localizados generalmente 180° uno de otro, aunque la distancia entre ellos puede ser sobre la circunferencia de la coraza, a cualquier distancia conveniente y práctica. El diámetro de los agujeros varía del 1% al 2% del diámetro interior del cubilote.

#### **h) PUERTA DE CARGA**

En los cubilotes cargados a mano estas aberturas están relativamente bajas para dar mayor facilidad al operario, pero en los cubilotes grandes esta altura es de unos 4 m aproximadamente desde la placa del fondo hasta el umbral de la puerta de carga. Cuando se realiza la carga mecánicamente, esta puerta está ubicada a un nivel más alto, para permitir una absorción más eficiente del calor de los gases de escape que ascienden.

#### **i) CHIMENEA**

En los edificios la chimenea debe sobrepasar la altura del techo y estar a una distancia prudente para evitar incendios. Esta debe estar cubierta por un capuchón para evitar problemas con las inclemencias del tiempo. Algunos hornos están provistos con un supresor de chispas, pero este no evita que las cenizas se acumulen en los techos adyacentes, ni elimina ninguna condición indeseable de los gases de escape.

La producción normal o velocidad de fusión del cubilote depende del diámetro interno al nivel de toberas. En el horno el problema es más de quemar el coque que de fundir el metal, por ello se debe tomar en consideración que durante la primera hora de colada la producción es más baja, porque el horno no está todavía suficientemente caliente, mientras que al final de coladas largas se obtiene producciones mayores.

El uso del cubilote tiene algunas ventajas como:

El hierro fundido puede ser sangrado a intervalos regulares, es decir existe una fusión continua.

El costo de las materias primas y operación, son inferiores que los de otro tipo de unidad de fusión, para producir un tonelaje equivalente.

Con una operación apropiada del horno es posible el control de la composición química.

También ciertas limitaciones, entre estas tenemos:

Porcentajes de carbono con el hierro abajo del 2.8% son difíciles de obtener.

Elementos de aleación, como el cromo o molibdeno, son parcialmente oxidados.

No es posible obtener temperaturas superiores a 1550°C.



## 2.2. FUNCIONAMIENTO DEL CUBILOTE

Para una buena operación del cubilote, inicialmente se cierra la puerta del fondo, se apisona sobre el fondo una capa de arena con pendiente hacia el orificio de sangrado, luego se efectúa el calentamiento gradual previo quemando leña en el crisol para eliminar la humedad del horno, evitando así el deterioro del revestimiento. Se coloca la madera cuidadosamente sobre el lecho de arena, formando un cono invertido, para que pueda absorber el impacto de la leña adicional y del coque. Es importante que la leña esté seca sea suave y de combustión fácil. Las tapas de las toberas se dejan abiertas y se enciende la madera con la ayuda de gasolina u otro elemento inflamable.

En el momento en que la madera ya está ardiendo se añade coque correspondiente a un tercio o la mitad de la carga total de la cama de coque, el fuego asciende progresivamente hasta que todo el coque está caliente alimentado por tiro natural, el aire es succionado a través de los agujeros de limpieza y de escoria que se mantienen abiertos. A veces se emplean toberas auxiliares o un pequeño soplante para quemar rápidamente el lecho del coque.

La cama de coque debe ser de tamaño uniforme, para permitir el libre paso del aire y para que su encendido sea rápido, las piezas grandes de coque tienden a formar canales muy grandes para el paso del aire e impiden que la cama se queme uniformemente, mientras que las piezas pequeñas se queman muy rápidamente. La altura de la cama de coque generalmente es de 90 a 120 cm sobre el nivel de las toberas, según la presión del horno, claro que la experiencia que posea el operador también es muy importante en el momento de seleccionar la altura adecuada.

El encendido de la cama prosigue durante una hora mas o menos, hasta que llega a un color rojo cereza, brillante y parejo. Cuando el coque está bien encendido se cierra el agujero de limpieza con una mezcla especial de barro y arena de moldeo, y se tapa con una placa de acero. Se añade mas coque para alcanzar el lecho de la altura requerida, el cual se comprueba con una barra de medida introducida por la puerta de carga. Antes de introducir cualquier carga hay que estar seguro de que el coque está bien encendido y que arde fácilmente en las toberas.

Cuando el lecho está apunto se añaden las cargas para llenar el horno hasta el nivel del tragante. Se alternan las cargas de metal y coque, el fundente, que normalmente es caliza, se carga con el coque. Cuando el cubilote está lleno se comienza el soplado, el coque se quema con el aire inyectado por el ventilador y se inicia la fusión del hierro y a los 8 ó 10 minutos, debe verse pasar el metal fundido por delante de las toberas.

Si el descenso de la carga se detiene o retrasa, se forma un puente o atascamiento de piezas de metal, se debe deshacer el puente con una barra puntiaguda y un martillo, que se introduce por la boca de carga, o pueden quedar obstruidas las toberas a causa de escoria que enfriada por la corriente de aire se deposita en frente de ellas, se deben hacer limpiezas periódicas por medio de barras hasta quedar totalmente limpias.

Algunos fundidores prefieren mantener abierto el agujero de colada hasta que el metal ya fundido salga caliente del horno, entonces se cierra con un tapón, otros cierran el agujero, una vez que el secado es completo, antes de empezar a soplar; este tapón es de forma cónica con un 50% de arcilla refractaria, 20% polvo de carbón, 30% de arena de moldeo, y se lo introduce en el orificio de sangrado mediante una barra.

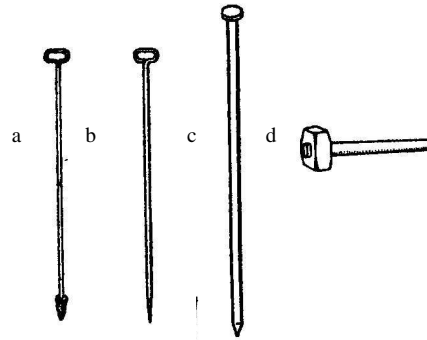


Fig. 1.- a, barra para aplicar los tapones; b, piqueta; c, barra para romper los puentes; d, martillo.

El metal se va acumulando en el crisol y cuando se supone que hay cantidad suficiente (según experiencia), se sangra el horno retirando el tapón con una barra firme y si es necesario se utiliza un combo para golpear. Mientras tanto se siguen añadiendo cargas de metal y coque para reemplazar al metal fundido y así se continúa hasta el fin de la colada, la escoria se evacua por el agujero correspondiente.

Al fin de la colada se deja de cargar y se mantiene el soplado hasta que por inspección a través de las toberas se vea que todo el metal se ha fundido e inmediatamente se suprime el soplado. Antes de abrir el fondo hay que asegurarse que el piso debajo del horno esté bien seco, entonces se retira el puntal y el cerrojo que sujetan el fondo móvil, se descargan todos los residuos que quedaban en el horno, estos se enfrían bruscamente en agua, para evitar que los soportes del horno se dañen. El coque restante que aproximadamente es la mitad del que inicialmente se necesitó para formar el lecho, se puede recuperar y emplear en la colada siguiente. Antes de volver a usar el cubilote es necesario reparar el refractario, si este ha sufrido algún daño durante la operación, la importancia de las reparaciones depende de la duración de la colada. Cuando las condiciones de funcionamiento son duras puede ser necesario poner ladrillos nuevos en la zona de fusión, donde existe más erosión del revestimiento. La reparación debe hacerse cuidadosamente y hay que secar el revestimiento antes de volver a usar el cubilote.

En los últimos años se han introducido ciertos perfeccionamientos en la práctica del cubilote, no son realmente nuevos, pero se les ha utilizado como consecuencia del aumento de los precios de la mano de obra y de los materiales. Uno de estos desarrollos es el uso creciente de los cubilotes refrigerados con agua, en los que existe una camisa de agua en la zona de fusión o se proyectan chorros de agua sobre ella. La refrigeración con agua ahorra refractarios y gastos de reparación.

Para ahorrar coque y hacer posible el empleo de cargas con mayor proporción de chatarra se ha aumentado continuamente el empleo de cubilotes de viento caliente. El empleo de viento precalentado permite usar coque de baja calidad y hacer disminuir las

pérdidas de silicio, mientras que a la vez se incrementa la absorción de carbono por el metal.

## **2.3. CARGA DE COQUE**

El coque es un material sólido, celular, que se obtiene al calentar carbones bituminosos fuera del contacto con el aire. Después de extraer la humedad a un carbón coquizable, se produce un proceso de reblandecimiento, entre 350 y 450° C, al elevar la temperatura a unos 500° C se desprenden gases y la carga se solidifica. De una tonelada de hulla aproximadamente se obtiene de 270 a 300 m<sup>3</sup> de gas, de 650 a 700 kg de coque y otros productos químicos.

A continuación se definen los parámetros: tamaño, composición y propiedades mecánicas de la carga de coque que es necesario utilizar en el cubilote.

### **2.3.1. TAMAÑO**

El tamaño del coque es fundamental para una buena fundición, el tamaño recomendado en una operación normal es de 1/10 a 1/12 del diámetro interior del cubilote. Bajo ninguna circunstancia el coque que se carga en el cubilote debe tener un tamaño menor a 25 mm, ya durante el proceso de fundición se producen atascos y el operario procede a mover el material mediante una varilla, por los orificios de las toberas, debido a la acción del viento estos pequeños pedazos pueden salir a grandes velocidades y causar daño. La carga de coque es del 10 al 15% de la carga metálica, o una cantidad que ocupe de 15 a 20 cm de altura en la cuba.

### **2.3.2. COMPOSICION**

Cuando se habla de composición del coque se refiere a: humedad, materias volátiles, cenizas, carbono fijo, fósforo y azufre.

La humedad en el coque depende del tamaño del coque y en menor extensión de su estructura celular. A mayor tamaño contiene mayor humedad que coque pequeño en las mismas condiciones debido a su menor superficie por unidad de peso. La cantidad de humedad absorbida generalmente esta entre 2 y 3%.

Las materias volátiles para fundiciones muestran valores de 0.73 a 1.25%. Un promedio aceptable puede ser 0.9%. Valores mas elevados pueden significar índices de mala coquización.

La ceniza es la porción del coque no combustible. Cuando el coque posee mayor cantidad de cenizas, menor es su valor como combustible. La ceniza es también fuente de escoria y por esto ejerce influencia en la cantidad del fundente utilizado. El contenido de ceniza en coque comercial varía del 8 a 12%.

En el coque el carbono fijo se define como: %Carbono Fijo = 100 – (%materia volátil - % ceniza) y representa la única porción del coque que contribuye a generar calor útil en la fusión.

El fósforo se halla en cantidades que varían alrededor de 0.01% del coque en peso. Igual que el azufre es absorbido por el hierro en la fusión. Con hierro gris que lleve 0.15% o más de fósforo, la absorción en la fusión no es relativamente de importancia.

El azufre es absorbido por el hierro en la fusión y varía casi directamente con el contenido de azufre en el coque. El contenido probable de azufre en el coque es de 0.8% o menos. Con 0.8% de azufre en el coque la absorción del metal será de 0.04% aproximadamente en operaciones normales. La forma como el azufre se encuentra en el coque parece ser también vital, ya que si la ceniza es la que retiene el azufre se puede producir hierro con un bajo contenido de azufre.

### **2.3.3. PROPIEDADES MECANICAS**

Las especificaciones de resistencia del coque es la habilidad que tiene este para que llegue a su destino final en el cubilote en su tamaño originalmente especificado. El coque debe tener la suficiente resistencia para soportar las cargas de peso en todas las zonas del cubilote. Es decir que una especificación de resistencia indica lo que puede esperarse del coque cuando es vaciada la carga metálica sujeta al impacto.

## **2.4. CARGA METALICA**

Uno de los factores principales para una buena operación del cubilote es la materia prima metálica que entra, por lo tanto la planeación de un buen patio de chatarra es muy importante.

La carga metálica generalmente consiste en piezas de hierro que han cumplido su vida útil como parte de maquinaria, vehículos, equipos de calefacción, sistemas municipales de distribución de agua, o de muchas otras estructuras en que son o han sido usadas tales piezas de fundición. Por estas razones la pedacería es muy variable en análisis químico y tamaño; también puede estar contaminada con otros materiales que pueden haber formado parte de la estructura original tales como ejes de acero, metales de cojinetes materiales no ferrosos y muchos otros materiales diversos.

### **2.4.1. TAMAÑO**

Debido a que la carga metálica representa el más grande volumen y masa de los materiales sólidos introducidos al cubilote, es necesario definir apropiadamente el tamaño de la carga metálica para mantener eficientes las condiciones de transferencia de calor. La chatarra deberá de ser de un tamaño que este de acuerdo con el diámetro del cubilote, con el fin de prevenir atascones. La dimensión máxima de las piezas de metal no deberán de exceder de un tercio del diámetro interior del cubilote en la zona de fusión, además si las cargas metálicas son tan voluminosas en tamaño, no se fundirán en la zona de fusión, sino que entraran a la zona de reducción o en la zona de combustión, lo cual impide el sobrecalentamiento del metal líquido y reduce el carbono ganado. Si las metálicas sólidas entran a la zona de combustión, la superficie se oxidará, combinándose con la escoria, y perderá la fluencia del metal. Las pequeñas piezas

pueden estorbar, incrementando la resistencia del flujo de gas e incrementar la tendencia para ocurrir puenteo o canaleo.

## 2.4.2. COMPOSICION

El análisis químico nos indica cuáles elementos y en que proporción están contenidos en el hierro, y el análisis metalográfico nos indica como están contenidos tales elementos, esto es como están distribuidos y combinados entre sí, sus dimensiones y disposición; es decir este examen nos revela la estructura del material.

La chatarra de fundición, que proviene de la destrucción de máquinas viejas fuera de uso, es muy heterogénea por procedencia y composición, es seleccionada en varias categorías homogéneas, a fin de que el fundidor pueda utilizar, según los casos el material más adecuado.

Se han hecho varias clasificaciones, sobre todo con fines comerciales, y a continuación la siguiente tabla nos indica los tipos de chatarra más utilizada para la fundición:

CHATARRA	ORIGEN	% C	%Si	%Mn	%P	%S	NOTAS
Fundición mecánica	1 calidad De máquinas, espesores > 10mm 2 calidad De máquinas, espesores < 10mm	3,3..3,5	1,5..2	0,7..0,9	0,2..0,4	0,08..0,1	Se excluyen las chatarras de otras clases; es tolerado un 2-3% de Fe o acero; la pieza no debe sup. Los 30kg.
Fundición común	1 calidad Tubos, columnas, radiadores, calderas, maq. agrícola, con espesores >s 2 calidad Lo mismo pero de menos espesor	3,4..3,6	1,8..2,8	0,55..0,6	0,6..0,8	1	
Lingoteras	Lingoteras de acererías	3,5..3,8	1,2..1,6	0,6..0,7	0,1	0,06..0,1	-
Fundición maleable	Núcleo gris Núcleo blanco	0,5..1,5 2,5..2,7	0,5..0,6 0,9..1,3	0,4..0,5 0,3..0,4	0,05 0,05	0,2..0,3 0,1..0,15	- -
Fundición quemada, esmaltada, expuesta a ácidos.	-	-	-	-	-	-	Para usar en piezas que no requieren grandes exigencias mecánicas
Viruta	-	-	-	-	-	-	Según su origen

Tabla 1.- Clasificación de las chatarras de fundición para nuevas coladas, y análisis más probables.

## 2.5. FUNDENTES

Un fundente es una sustancia que reacciona con la escoria para bajar su punto de fusión, aumentar así su fluidez y mejorar su capacidad de refinación. Si un fundente básico no

es añadido en el cubilote, éste no podrá operar por mucho tiempo antes de que la escoria demasiado viscosa tape los intersticios del coque y forme una bóveda en las áreas más frías del cubilote. La condición de la escoria influye sobre la limpieza, las diferentes reacciones y la eficiencia de la combustión en el cubilote.

A continuación se definen los parámetros: producto fundente, composición, carga y tamaño del fundente que es necesario adicionar en el cubilote.

### **2.5.1. PRODUCTO FUNDENTE**

En el proceso de fusión en el cubilote una cierta cantidad de materiales no metálicos se acumulan como escorias. La escoria que se forma se debe esencialmente a:

- Cenizas del coque
- Productos de oxidación
- Revestimiento refractario fundido
- Polvos y tierras extrañas.

Cuando no se realiza ningún ajuste a la composición de la escoria, ésta resulta ser muy viscosa debido a la excesiva concentración de constituyentes ácidos y una deficiencia de constituyentes básicos.

La adición de materiales básicos es una cuestión necesaria para fundir, licuar o fluidizar la escoria y facilitar su eliminación del cubilote.

Básicamente los fundentes que se emplean en cubilotes pueden ser clasificados como primarios y secundarios. A continuación se muestra los diferentes fundentes:.

#### Fundentes Primarios

- Cal de piedra caliza (carbonato de cal).
- Calcita
- Concha de moluscos (ostras, ostiones, etc).
- Magnesia (óxido de magnesio) de la dolomita.

#### Fundentes Secundarios (o suplementarios)

- a) Carbonato de sodio de la sosa fundida
- b) Trona mineral (sexquicarbonato de sodio).
- c) Fluoruro de calcio del mineral espatofluor, o simplemente espatofluor.
- d) Combinaciones patentadas de los anteriores.

La piedra caliza es una roca mineral que contiene esencialmente carbonato de calcio, y es la más utilizada en la fundición, debido a su bajo costo y su disponibilidad en el mercado.

Cuando la piedra caliza llega a la zona de precalentamiento del cubilote, se desprende de ella bióxido de carbono  $\text{CO}_{2(\text{gas})}$  quedando el óxido de calcio (CaO) o cal como fundente activo. Cuando la caliza se calienta a una temperatura de  $800^{\circ}\text{C}$

aproximadamente, comienza a disociarse o calcinarse para formar óxido de calcio (CaO) desprendiendo anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>).

La calcinación empieza en la superficie de la piedra y continúa hacia el centro en una zona muy angosta a un régimen muy constante que depende de la temperatura. El régimen de calcinación aumenta con cada grado de temperatura arriba de los 800°C pero varía ampliamente entre calizas de composición similar siendo más rápida en piedras más porosas y lenta en piedras más densas.

### **2.5.2. COMPOSICION**

Debido al desprendimiento de CO<sub>2</sub> en la calcinación, la más pura caliza contiene tan solo 56% de óxido de calcio.

Generalmente las piedras calizas contienen cantidades reducidas de sílice, óxido de hierro, alúmina, magnesia y probablemente trazas de algunos otros óxidos. De estos óxidos, la alúmina y la magnesia no causan daño alguno, mas bien mejoran la fluidez en la escoria. En cambio la cantidad de sílice presente como impureza reduce el poder fluidizante del fundente. Una piedra caliza de buena calidad debe contener menos del 2% de sílice.

Las conchas de moluscos, marga o arcilla calcárea y creta son todas fuentes de óxido de calcio que pueden ser empleadas si son más fáciles de obtener que la piedra caliza.

### **2.5.3. CARGA Y TAMAÑO**

Generalmente los cubilotes pueden ser escoriados con fundentes primarios añadidos en cantidades que varían de 2 a 7% del peso de la carga metálica. En cubilotes de gran tamaño, con cargas limpias y condiciones favorables podrían ser suficientes el 2%, mientras que en cubilotes de menor tamaño, con cargas sucias y malas condiciones podría necesitarse un 7%. En malas condiciones podría justificarse el añadir fundentes suplementarios en cantidades de 0.2 a 2%.

El tiempo para lograr una calcinación completa de la piedra caliza, cualquiera que sea su densidad o composición varía directamente con su tamaño. Es evidente que para mejores resultados debe controlarse el tamaño de la piedra de acuerdo con sus características de calcinación, profundidad de carga del cubilote, velocidad de paso a través del interior, y las temperaturas existentes a las diferentes alturas hasta la zona de fusión. El tamaño y la clase de fundente afectan la acción de este en el cubilote, y por lo tanto influyen también sobre las condiciones de fusión y en general sobre las operaciones del cubilote.

Generalmente se considera muy satisfactoria para su empleo en el cubilote la caliza de tamaño entre 2 y 5 cm. En cubilotes muy grandes se ha probado satisfactoriamente caliza de hasta 8 cm. La piedra caliza es la carga que menos control tiene en su adición al cubilote, una adición insuficiente puede parar el horno, mientras una adición excesiva puede ocasionar grandes pérdidas del refractario.

## **2.6. PROCESO DE COMBUSTION EN EL CUBILOTE**

El aire soplado provee el oxígeno para la combustión del coque, este aire es introducido al cubilote a través de las toberas, estas conducen al aire hacia la cama de coque incandescente, durante la operación del horno.

El calor producido con el oxígeno en el aire soplado, se combina con el carbón de la superficie del coque. Los productos gaseosos resultantes de la combustión, varían en proporciones de dióxido de carbono y monóxido de carbono. El tamaño apropiado y la uniformidad del coque, el tamaño apropiado de la carga metálica y una buena distribución promueven de alguna manera un flujo uniforme de los gases que son necesarios para una buena operación del horno.

Como la carga metálica desciende por gravedad, hacia la zona de máxima temperatura, los metálicos son calentados arriba de su punto de fusión, al producirse el cambio de sólido a líquido, el metal fundido gotea a través de los huecos de la cama de coque y se almacena en el crisol del cubilote, el espacio previamente ocupado por el coque que ha sido consumido y los sólidos metálicos que han sido fundidos, es rellenado con la carga metálica descendente y coque.

El proceso de combustión en el cubilote es de alguna manera única, debido a la relación de contra flujo de los reactantes (carbón sobre la superficie del coque y oxígeno en el aire insuflado). La combustión en el cubilote es también extremadamente dinámica, debido a los continuos cambios en el área de la superficie del coque que es expuesto al aire insuflado. Los huecos, en la cama de coque incandescente, proveen un pasaje para el aire insuflado que es requerido para mantener la combustión.

Por esta razón, el tamaño apropiado de coque y la uniformidad son muy críticas para una buena combustión, este deberá ser proporcional al diámetro del cubilote, para facilitar o promover una buena penetración del sople. La combustión eficiente en el cubilote, también depende de la superficie total de coque en la altura de la cama que está en operación y del volumen de sople, que está en una proporción adecuada.

### **Durante este proceso los componentes de la carga experimentan:**

- Pérdida de silicio por oxidación 12% pero si hay manganeso será menor.
- Pérdida de manganeso por oxidación 15%.
- El fósforo permanece constante.
- El azufre aumenta de 30 a 40%.
- El carbono no sufre variación.
- Con exceso de aire las pérdidas de silicio y manganeso aumentan un 50%.
- Si el coque tiene mucho azufre (más del 2 %) el aumento de éste puede llegar a un 60%, lo que producirá la pérdida de piezas.

### **El primer hierro de la producción puede ser anormal debido a:**

- Tamaño inadecuado de carga férrea.
- Carga oxidada, con exceso de tierra o arena.
- Coque en tamaños inadecuados con escaso poder calorífico.



- Elevado contenido de cenizas.
- Piedra caliza de mala calidad o con exceso de sílice.
- Revestimiento refractario de mala calidad.
- Formación de puentes o reducción de la sección del cubilote por encoronamiento, es decir por acumulación de escorias adheridas al revestimiento.

**En la puerta de carga no debe haber llama:**

- Si hay llama y esta es azul transparente hay exceso de la presencia de monóxido de carbono.
- Si la llama es de color rojo claro, hay exceso del coque de relleno.
- Si la llama es amarilla rojiza hay exceso de aire.
- Si la llama es oscura y con humo hay defecto del aire soplado.

**Se determina la buena marcha del horno por escoria:**

- Si es fluida y de color verde oliva el proceso de fundición va bien.
- Escoria demasiado fluida y oscura hay exceso de fundente.
- Escoria demasiado viscosa hay escasez de fundente.
- Escoria compacta, parda con fractura hay buena marcha con elevado contenido de manganeso.
- Escoria negra hay presencia de óxidos pesados, excesiva oxidación.

**El hierro colado está oxidado cuando:**

- Se producen pequeñas chispas cortas a la salida.
- La colabilidad es reducida.
- El chorro de hierro aparece cubierto por un velo blanco brillante, entre más espeso más oxidado está el metal.

## **2.7. ZONAS DEL CUBILOTE**

La cantidad de los gases del cubilote varia dependiendo de la humedad y del aire soplado, y los principales son:

- El bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y el vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), son gases oxidantes.
- El monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) y el hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) son gases reductores.
- El nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) es un gas inerte, y su principal papel es el de ser un medio de transferencia de calor.

Las reacciones que se producen en el cubilote dan lugar a la formación de zonas más o menos definidas, cuyo control es de mayor importancia para obtener una operación satisfactoria y eficiente, estas son:

### 2.7.1. ZONA DE FUENTE

En esta zona, que se halla ubicada bajo toberas, el coque, el metal y la escoria están rodeados por gas rico en CO. En esta zona existe disolución de carbono en el hierro líquido; gran cantidad de carbono ganado debido al relativamente largo período de contacto entre coque y hierro. Algunas reacciones de reducción pueden ocurrir entre la zona de fuente y zona de reducción. Una cantidad de elementos oxidados: silicio, manganeso y hierro pueden ser reducidos en la interfase escoria-gas. Las reacciones en esta interfase determinan la cantidad de azufre que puede ser removida por la escoria del metal. Las reacciones en esta zona son mas para control químico que para control de la combustión.

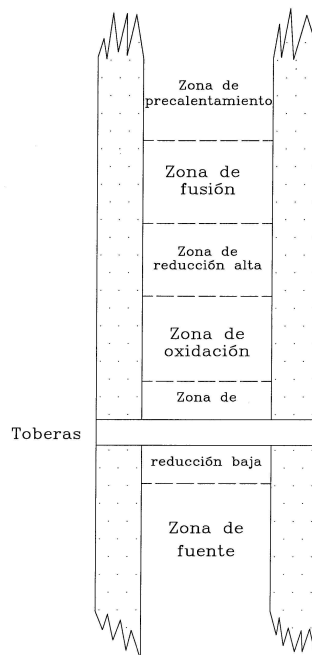


Fig. 2.- Zonas del cubilote

### 2.7.2. ZONA DE OXIDACION (COMBUSTION)

Es la región donde ingresa el oxígeno del aire para formar con el carbono del coque, CO y CO<sub>2</sub>, mucha de la humedad en el soplado reacciona con el coque y se reduce a hidrógeno. La temperatura del gas sube y baja precipitadamente; sube debido a la rápida combustión y cae por el contacto con muchos sólidos fríos y la formación endotérmica de CO. La temperatura se estima entre 1700 y 2100°C un pie (304.8mm) sobre las toberas. La temperatura frente a toberas es muy baja ya que no existe combustión instantánea. A esos niveles de temperatura el oxígeno reacciona rápidamente con el coque y el CO, hasta que el O<sub>2</sub> es reducido a 1-2%. El límite entre las zona de oxidación y zona de reducción puede ser definida como el punto donde el contenido de oxígeno es 2%. Otra definición de límite es cuando el contenido de CO<sub>2</sub> alcanza su máximo nivel.

La función principal de la zona de oxidación es generar suficiente energía para sobrecalentar el hierro fundido, proveer gases calientes para sobrecalentamiento, fundir, y precalentar los materiales de carga, en las zonas sobre las toberas. Esta es la región donde se genera la energía térmica y la región mas crítica en el cubilote para una

operación exitosa. Los mejores parámetros operacionales de temperatura de sangrado y régimen de fusión están determinados por los eventos que ocurran en esta zona.

### **2.7.3. ZONA DE REDUCCION**

Las zonas de reducción alta y baja están separadas por la zona de oxidación. La zona de reducción alta esta entre la zona de oxidación y la zona de fusión. La zona de reducción baja esta entre la zona de fuente y la zona de oxidación. El principal propósito de estas zonas es sobrecalentar el hierro, pero puede ocurrir también alguna reducción de óxidos de hierro, manganeso, silicio y otros metales. La disminución de los óxidos es muy deseable en la zona baja de reducción ya que esto recupera algo de las pérdidas que ocurren en la zona de oxidación. La concentración de CO es muy alta en la zona baja de reducción, puesto que el CO<sub>2</sub> reacciona con el coque para formar CO adicional.

El tamaño de la porción alta de la zona de reducción esta muy bien determinada por la altura de la cama de coque. La cantidad de carbono disuelto en el hierro y la temperatura del metal incrementa cuando incrementa la altura de esta zona.

Sin embargo, debido a la alta temperatura de los gases y el coque, algo de CO<sub>2</sub> formado en la zona de combustión reacciona para formar CO. Esta reacción es muy endotérmica y reduce el calor sensible de los gases cuando ellos entran a las zonas de fusión y precalentamiento. En adición, esta reacción consume carbono que de otra manera podría ser efectivamente usada en la combustión en la zona de oxidación o para ganancia de carbono en la zona de fuente. Un coque con una alta reactividad tiende a formar CO, por esto se desea un coque con baja reactividad. La reactividad del coque es afectada por su densidad y volatilidad, coques con altas densidades y bajas volatilidades tienen baja reactividad.

El tamaño del coque tiene un importante efecto en la determinación de la cantidad de CO<sub>2</sub> que dará CO. La cantidad de CO<sub>2</sub> reducida esta directamente relacionada con el área de superficie del coque, los materiales de tamaño grande poseen menos resistencia a la carga y los gases pueden fluir a través de la zona más rápido. La cantidad de CO<sub>2</sub> reducida es directamente relacionada a la cantidad de tiempo que los gases gastan en la zona, y más altas velocidades reduce el tiempo en la zona y la cantidad de CO<sub>2</sub> es reducida.

### **2.7.4. ZONA DE FUSION**

Es la región desde lo alto de la cama de coque al punto donde la primera fusión ocurre en la carga metálica. La zona esta limitada por la cima de la zona de reducción y el fondo de la zona de precalentamiento. El calor necesario para licuar el metal, es dado por los gases calientes que vienen desde la zona alta de reducción. En esta zona, el movimiento ascendente de los gases es enfriado considerablemente mientras que el movimiento descendente de sólidos tiene solo despreciables incrementos de temperatura. La escoria también empieza a licuarse en esta región.

Aunque el punto de fusión del acero de bajo carbono es aproximadamente 2000° C más alto que el típico hierro fundido de 1300° C, este amplio rango de temperatura no ocurre usualmente en la zona de fusión. El hierro líquido ayuda a licuar el acero y se gana algo

de carbono, por el acero desde los gases de pila o el coque en la zona de precalentamiento para bajar el punto de fusión del acero. El tamaño y la forma de la carga metálica afecta en esta zona, piezas de gran volumen de chatarra de acero pueden no fundirse en la zona de fusión y llegan hasta las toberas, en la zona de oxidación. Si el sólido no funde en la zona de fusión, la composición final del metal será mas baja en carbono y la temperatura será mas baja de la normal.

#### **2.7.5. ZONA DE PRECALENTAMIENTO.**

Se extiende desde lo alto de la zona de fusión a lo alto de la puerta de carga. Las principales funciones son precalentar los materiales de carga desde la temperatura ambiente a la temperatura de fusión, evaporar la humedad de los materiales de carga y descomponer el carbonato de calcio en  $\text{CO}_2$  y  $\text{CaO}$ . Ya que los gases entran a esta zona sobre los  $1200^\circ\text{C}$ .

La principal función, sin embargo, es precalentar el material de carga mediante la transferencia de calor en contra flujo con los gases calientes. En esta región los gases se enfrían desde  $1200^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $200\text{-}400^\circ\text{C}$ , aunque se han reportado mas altas temperaturas. La temperatura final de los gases de pila varia considerablemente desde un valor bajo inmediatamente luego que una carga es añadida a un valor alto antes de la adición de la carga. Algunos indican que la más grande porción de calor total ganado por los elementos de la carga metálica ocurre en esta zona. La importancia de la transferencia de calor en esta zona no puede ser subestimada.

La volatilización de la humedad, ambas, combinada y no combinada, ocurre en esta región. Esas reacciones son endotérmicas y por eso deben ser evitadas. Las cargas metálicas mojadas o coque mojado causaran que la zona de fusión se mueva y se estreche a la zona de oxidación y reduce la zona de reducción alta. Los efectos netos esperados serían metal mas frío en la sangría y reducida ganancia de carbono. Algunos operadores aseguran que la humedad reduce la reactividad del coque.

La calcinación de la piedra caliza ocurre en esta zona y es altamente endotérmica. El  $\text{CO}_2$  formado se une a los gases de pila. El rango de temperatura para la calcinación depende de la composición de la piedra caliza y el tamaño; el proceso de calcinación usualmente ocurre desde los  $800$  a los  $1200^\circ\text{C}$ . El  $\text{CO}_2$  producido por la calcinación a altas temperaturas puede reaccionar con el coque para formar  $\text{CO}$  y esta reacción endotérmica debe ser evitada.

Ya que la concentración de  $\text{CO}$  es alta en esta zona, la reducción de óxidos de hierro o hidróxidos en la forma de herrumbre puede ocurrir. Estas reacciones son endotérmicas y adversamente afectarán el balance de calor, por lo cual los materiales oxidados requerirán más alto consumo de coque.

## **CAPITULO III**

### **MATERIAL REFRACTARIO**

#### **3.1. REVESTIMIENTO DEL CUBILOTE**

El revestimiento del cubilote es de un material refractario, debe contener de manera eficiente el calor y los productos fundidos, este puede ser de material apisonado, llamado monolítico, si se apisona y se seca bien pueden tener una larga vida. Pero la mayor parte de los refractarios se emplean en forma de ladrillos o bloques, sometidos a un proceso de secado rigurosamente controlado, todos sus lados son cocidos uniformemente a temperaturas adecuadas; este procedimiento se lo realiza en hornos cerámicos especiales.

El revestimiento debe tener buena calidad y uniformidad para evitar daños a los componentes estructurales del horno, también se debe tomar en cuenta cual es la zona donde se presentan las condiciones más severas, esta se encuentra precisamente arriba de las toberas, aquí se produce la oxidación del hierro y otros componentes, el ataque de la escoria es más destructivo, la alta temperatura aumenta la acción química y la erosión mecánica, también la penetración del aire soplado en el coque afecta el ataque al refractario.

En la solera el revestimiento está en contacto solamente con el metal fundido, escoria y coque estático por lo tanto los efectos de temperatura y abrasión no son serios. En la zona de carga no existen altas temperaturas ni ataque de la escoria, pero si existe abrasión tanto por el impacto de la carga como por la fricción en su movimiento descendente.

En muchos cubilotes el revestimiento entre las toberas y el tragante es de espesor uniforme, pero se puede disminuir el revestimiento en la zona de carga para que la sección transversal sea mayor y con ello se aumenta la capacidad de la zona de precalentamiento por encima del lecho del coque y puede trabajarse con más economía.

##### **3.1.1. ELEMENTOS REFRACTARIOS**

Los materiales refractarios podemos definirlos como materiales estructurales no metálicos que soportan las fuerzas destructivas de las temperaturas elevadas (por lo menos 600°C), dentro de estas fuerzas tenemos la abrasión, la escoria, esfuerzo mecánico; pero estas a varían a menudo con la temperatura.

La abrasión se produce por el deslizamiento de los materiales sólidos de la carga o por el roce producido por el aire soplado. Algunos de los componentes de la escoria, es decir el fundente, la ceniza de coque, la arena pegada, el oxido de hierro y otros; debido a la operación del cubilote, llegan a la zona caliente del cubilote sin combinarse y al tener contacto con el refractario reaccionan con él, bajando sus puntos de reblandecimiento y de fusión. La falla del esfuerzo mecánico se produce cuando la expansión y contracción del refractario está restringidas, o cuando este está sujeto a

cambios rápidos de temperatura, debido al choque térmico. El calor puede ablandar tanto al refractario que permite que se cuelgue, e inclusive que salga de su lugar.

### 3.1.2. CLASIFICACION DE LOS REFRACTARIOS

La composición de los refractarios se expresa usualmente dando el análisis químico con los tanto por ciento de los óxidos constituyentes, tales como  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ , etc. Sin duda en muchos casos los óxidos individuales no están presentes como tales, si no que están químicamente unidos con otros óxidos. Sin embargo la composición proporciona la base fundamental para la clasificación de los materiales refractarios en ácidos, básicos y neutros

**a) ACIDOS:** El más importante la sílice  $\text{SiO}_2$  la cual a temperaturas altas reacciona con los refractarios, las escorias, las cenizas, o con los fundentes básicos, formando silicatos cuyo punto de fusión es menor al punto de fusión de los dos constituyentes. Es por tal razón que nunca se deben poner en contacto los refractarios ácidos con refractarios, escorias o fundentes básicos.

La mayor parte de los refractarios utilizados son del grupo de las arcillas que son una mezcla de óxidos de Silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y de Aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

**b) BASICOS:** Los principales son el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) y de magnesio ( $\text{MgO}$ ), como en caso de los ácidos tienden a formar silicatos y por ende tienen la misma variación a elevadas temperaturas.

**c) NEUTROS:** En los cuales predomina la alúmina, la cromita o el grafito. Se les da el nombre de neutros porque no reaccionan con ningún otro tipo de material refractario, cenizas, escorias o fundentes.

### 3.1.3. CONDICIONES DE OPERACION DE LOS REFRACTARIOS

Los refractarios reaccionan diferentemente a las acciones destructivas por condiciones industriales de operación, y estas pueden resumirse de la siguiente manera:

#### **a) CONFINAMIENTO**

El objetivo principal del revestimiento refractario en el cubilote es formar un recinto que confine las materias primas y el calor del proceso introducido.

#### **b) CALENTAMIENTO**

En el calentamiento la energía generada fluye hacia el refractario en forma de calor, y parte de esta se pierde en el ambiente por radiación y convección.

Cierto porcentaje de la energía calorífica es conservada por el refractario y otra parte es radiada nuevamente hacia el interior del cubilote. El calor conducido a través de las paredes es una función de la conductividad térmica del refractario.

La conductividad térmica depende del material que esta hecho el refractario, el método de fabricación, estructura física (porosidad) y temperatura. El calor conservado en el refractario esta basado en el peso, calor específico medio, y cambio de temperatura.

Los refractarios se expanden al ser calentados y cuando se enfrían se contraen. Este efecto se conoce como expansión térmica reversible, este proceso introduce esfuerzos en la estructura del refractario.

Estos esfuerzos deben ser evitados en un cubilote ya que la coraza se puede reventar a causa de bloques colocados demasiado próximos a ella.

En adición a estos esfuerzos, pueden ocurrir cambios dimensionales permanentes a altas temperaturas, como se indica en el comportamiento al recalentado.

#### **c) FUSION**

La fusión de los refractarios en el cubilote se debe en parte a las temperaturas elevadas. En el momento de cocer los refractarios de arcilla se forma en ellos una cierta cantidad de vidrio y a bajas temperaturas este sirve como aglomerante. El vidrio conserva su rigidez hasta temperaturas de unos 1100°C, luego pierde su rigidez y comienza a actuar como un líquido viscoso, pero este cambio es lento. Dentro de esta zona el refractario se deformara solamente si esta expuesto a esfuerzos, con un calentamiento mas alto el vidrio se vuelve mas fluido y el ladrillo se abate, y si este sigue en aumento el vidrio disuelve la porción sólida restante hasta que se completa su fusión.

#### **d) FLUIDIFICACION**

La fluidificación es la acción mutua de los componentes minerales y vítreos de los refractarios de arcilla, pero en general, la acción fluidificante se refiere a la reacción química entre el refractario y substancias extrañas a el, que pueden ser liquidas o sólidas. La acción fundente (o el ataque de las escorias) es producida por factores como: temperatura, atmósfera del horno, composición química y mineralógica del refractario, estructura física y porosidad del refractario, composición, fluidez y acción de masa del fluidificante, etc.

En el cubilote tanto la acción fundente de la caliza como la ceniza en el coque, son responsables en gran parte de las fallas en la zona de fusión. La acción del fundente es casi siempre la causa principal de la destrucción del refractario, en forma de agrietamiento, astillamiento o desmoronamiento. En estos casos la reacción entre el fundente y el refractario dañan la capa de refractario en la superficie del revestimiento, causando que esta capa alterada se agriete y desplome.

#### **e) DESINTEGRACION**

Esta se refiere al ataque gaseoso que generalmente no es un problema serio en la operación del cubilote.

#### **f) AGRIETAMIENTO**

El agrietamiento es la rotura o desmoronamiento del refractario debido a causas térmicas, mecánicas, o estructurales. Existen tres tipos de agrietamiento y son:

- **Agrietamiento térmico:** se produce cuando los refractarios no son capaces de resistir esfuerzos inducidos por expansión o contracción, generalmente relacionados con cambios rápidos de temperatura. La resistencia al agrietamiento térmico esta relacionada con la expansión térmica reversible, transferencia de calor, elasticidad y textura del refractario. Esta condición puede

ocurrir en la zona de fusión del cubilote, especialmente, cuando existen cambios rápidos de temperatura.

- **Agrietamiento mecánico:** también llamado agrietamiento por estrujado, se origina cuando los refractarios son incapaces de resistir los esfuerzos estructurales. Las causas usuales son el estrujado, la inadecuada previsión contra la expansión y el secado inapropiado. La resistencia mecánica y la tenacidad del refractario usado son parámetros esenciales que se toman en cuenta para este tipo de agrietamiento. Este inconveniente puede suceder cuando los bloques se colocan muy apretados entre si.
- **Agrietamiento estructural:** tiene lugar cuando se altera la composición y la estructura de una porción del refractario. Esta alteración se produce por la acción del calor, o la acción de las escorias y los gases. La estructura, grado de exposición al fuego durante el cocido y la composición del refractario son las propiedades esenciales que afectan este tipo de comportamiento del refractario.

### 3.2. MATERIALES REFRACTARIOS USADOS EN LA FUNDICION

- **SÍLICE:** Es un material ácido que esta constituido del 95% de  $\text{SiO}_2$  y tiene la capacidad de resistir las escorias y fundentes ácidos. Tiene elevada resistencia a la compresión en caliente, pero es sensible a los cambios bruscos de temperatura bajo los  $650^\circ \text{C}$ .  
Para fabricar ladrillos de este material se cuece la sílice natural a una temperatura de  $800^\circ \text{C}$  en los hornos de cuba, finalmente se ablanda la masa y se hace una pasta con poca cal para luego comprimir esta masa en moldes adecuados y se cuecen las piezas obtenidas.
- **SILICOALUMINOSOS:** A diferencia de la sílice los silicoaluminosos soportan cambios bruscos de temperaturas, pero con la carga, empiezan a ablandarse mucho antes de que se alcance el punto de fusión.  
Soportan muy bien las escorias y fundentes básicos ya que poseen un comportamiento entre ácido y neutro, aun más si el porcentaje de alumina es mayor. Se fabrican ladrillos al 10-14, al 18-21, hasta el 28-40 e incluso el 42-44% de alumina, el resto esta constituido por sílice  $\text{SiO}_2$  e impurezas.  
Son utilizados en los hornos, estufas y especialmente en las paredes de los hornos de cubilote.
- **SILIMANITA:** Es un material ultra-aluminoso porque tiene el 60% de alumina  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y tiene un comportamiento neutro, es usado en hornos eléctricos como capa entre la solera básica de dolomita y la bóveda de sílice, o en otros hornos en los que los refractarios silicoaluminosos no resultan adecuados.
- **MAGNESITA:** Es un refractario a base de oxido de magnesio  $\text{MgO}$  aproximadamente el 80%, el otro porcentaje está constituido de sílice, cal, oxido de aluminio y de hierro. Tiene un comportamiento básico por lo tanto resiste bien a las escorias y a los fundentes básicos; posee una elevada y optima resistencia al óxido de hierro.



Los ladrillos de magnesita son utilizados para construir los lechos de las soleras de hornos eléctricos básicos y soleras de hornos de calentamiento.

- **DOLOMITA:** Es un refractario a base de óxido de magnesio MgO y de calcio CaO en proporciones variables. Para obtener este refractario se cuece la dolomita natural hasta su fusión superficial en los hornos de cuba o giratorios. Después se mezcla la maza hasta conseguir una granulación adecuada. La dolomita debe ser conservada en depósitos cerrados ya que tiene capacidad de absorber agua de la atmósfera, debido a que uno de sus componentes es la cal viva (CaO). Es usada principalmente en las soleras de hornos eléctricos y de revestimientos de los cubilotes básicos.
- **CROMITA:** Tiene un comportamiento neutro, soporta bien las escorias y los fundentes ya sean básicos o ácidos. La cromita presenta poca resistencia a los cambios bruscos de temperatura y comprensión en caliente.
- **GRAFITO:** Es de un comportamiento neutro, soporta altas temperaturas de hasta 1800° C. Es insensible a las variaciones de temperaturas, pero debe de trabajar en ambientes cerrados que contengan óxido de carbono ya que de otro modo se oxida, es decir arde. Sus aplicaciones están destinadas para la construcción de crisoles, electrodos de hornos eléctricos, piqueras de colada, etc.
- **CARBORUNDO:** Es un material a base de carburo de silicio SiC, tiene una elevada conductividad térmica y gran insensibilidad a las variaciones de temperatura. Se emplean para fabricar crisoles y piezas especiales.

## CAPITULO IV

### PROCESO DE MOLDEO

#### 4.1. ARENAS DE FUNDICION

Las arenas de fundición están constituidas por granos de cuarzo y por arcilla, que es el elemento de unión y da plasticidad y disgregabilidad al molde, la estructura granular propia de la arena asegura la permeabilidad.

La arena sílica es la más utilizada para realizar el moldeo, y no es mas que un compuesto resultante de la combinación de sílice y oxígeno, su composición química esta formada por un átomo de sílice y dos átomos de oxígeno, formando una molécula muy estable: Si O<sub>2</sub>, esta molécula es insoluble en agua, y en la naturaleza se encuentra en forma de cuarzo. Se encuentra en muchos depósitos naturales, y es adecuada para propósitos de moldeo ya que puede resistir altas temperaturas sin descomponerse, esta arena es de bajo costo, tiene gran duración y se consigue en una gran variedad de tamaño y formas de grano. También tiene una alta relación de expansión cuando esta sometida al calor y tiene cierta tendencia a fusionarse con el metal. La arena sílica pura no es conveniente por si misma para el trabajo de moldeo puesto que adolece de propiedades aglomerantes. Las propiedades aglomerantes se pueden obtener por adición de 8 a 16% de arcilla.

Las arenas naturales semisintéticas, se han formado por la erosión de las rocas ígneas; se mezclan adecuadamente con arcillas al extraerlos en las canteras y solo se requiere agregarles agua para obtener una arena conveniente para moldeos de piezas fundidas de hierro y metales no ferrosos. La gran cantidad de materia orgánica encontrada en las arenas naturales impiden que sean lo suficientemente refractarias para usos en temperaturas elevadas, tal y como en el modelo de metales y aleaciones con alto punto de fusión.

Las arenas de moldeo sintéticas se componen de sílice lava de granos agudos, a lo que se añade 3 a 5% de arcilla. Con las arenas sintéticas se generan menos gas ya que se requiere menos del 5% de humedad para que desarrolle su resistencia adecuada.

A medida que aumente el tamaño de las piezas a fundir conviene elegir también arena con granos más gruesa, de mayor resistencia y refracción. La arena ideal, seria aquella que se adaptara perfectamente bien para moldes destinados a distintos trabajos.

Para la fundición de piezas cuya superficie deben presentar buen aspecto sin trabajos posteriores a la fundición, se hace necesario el empleo de moldes de arena fija. Este tipo de arena es recomendable ya que gracias a su contenido es posible obtener mayor permeabilidad, lo que conlleva a una disminución de los defectos de la pieza.

## **4.2. TIPOS Y CLASIFICACION DE LAS ARENAS**

Las arenas para fundición se emplean para moldear y estas se dividen en dos tipos: arenas de contacto y arenas de relleno:

### **a) Arena de contacto**

Las arenas de contacto se deben preparar con especial cuidado, ya que están directamente en contacto con el modelo en un espesor de 10 a 30 mm. Por lo tanto si deseamos conseguir una superficie lisa de la pieza fundida debe tener cierta finura de grano, para lo cual se necesita hacer pasar la arena ya preparada por un tamiz, y a esto se añade polvo de carbón de piedra, según el espesor de la pieza fundida del 2 hasta el 12 %. Sus componentes ligeros forman una capa protectora entre los granos de arena y el metal, previniendo que se queme la arena, retarda el calentamiento y reduce el óxido metálico que se produce en la superficie. Las arenas cuando tienen un buen aglutinante el tamaño de los granos varían desde 0,02 hasta más de 0,5 mm de diámetro la cual resulta la arena más idónea para el moldeo. Las arenas de contacto para la fundición del metal ligero no contienen aditamento de polvo de carbón de piedra, puesto que la temperatura del metal fundido no es suficiente para destilar sus componentes ligeros, en su lugar se añade azufre o ácido bórico.

### **b) Arenas de relleno**

Este tipo de arena es de un grano más grueso y si se desea se puede emplear la arena utilizada en anteriores fundiciones, ya que esta únicamente sirve para terminar de llenar la caja de moldeo, para evitar que el molde sufra algún daño por la presencia de ciertos materiales extraños, se debe eliminar el residuo metálico por separación magnética para luego tamizarla a un tamaño mas homogéneo.

**La arena se clasifica según su contenido de arcilla en cuatro clases:**

- Arenas arcillosas o tierras grasas, cuyo contenido de arcilla es superior al 18%.
- Arenas arcillosas o tierras semigrasas, su contenido de arcilla se encuentra entre el 8 y 18%.
- Arenas arcillosas o tierras magras, su contenido de arcilla va del 5 al 8%.
- Arenas silíceas, cuyo contenido de arcilla es inferior al 5%, en este último caso la arcilla esta considerada como una impureza.

**Clasificación de la arena según la forma de grano:**

- Arena de grano esferoidal
- Arena de grano angulado
- Arena de grano compuesto.

**En relación con las dimensiones del grano tenemos:**

- Arena de grano grueso
- Arena de grano medio
- Arena de grano fino.

### 4.3. CALIDAD DE LAS ARENAS

Para determinar la calidad esencial de la arena de fundición se hace necesaria algunas pruebas periódicas. Las propiedades cambian por contaminación con materiales extraños, por la acción del lavado en el recocido, por el cambio gradual y la distribución de los tamaños de grano y por la continua exposición de esta a altas temperaturas. Las pruebas pueden ser tanto químicas como mecánicas, pero a parte de la determinación de los elementos indeseables en la arena, las pruebas químicas son de poco uso. Las mayorías de las pruebas mecánicas son simples y no requieren equipos elaborados. Varias de las pruebas están diseñadas para determinar las siguientes propiedades de la arena de moldeo:

- **Permeabilidad:** La porosidad de la arena que permite el escape de los gases y vapores formados en el molde.
- **Resistencia:** La arena debe ser cohesiva hasta el grado de que tenga suficiente ligazón, tanto el contenido de agua como el de arcilla, afecta la propiedad de la cohesión.
- **Resistencia en seco:** Es la resistencia necesaria en la arena para mantener la forma de la cavidad del molde cuando este seca.
- **Resistencia en verde:** Es la capacidad de la arena para formar grumos y de esta manera retener la forma necesaria.
- **Refractariedad:** La arena debe soportar las altas temperaturas sin fundirse.
- **Resistencia en caliente:** Esta resistencia hace que la arena no se deteriore ni cambie sus dimensiones. Una vez que el metal se solidifica y seca las orillas del molde, la arena se calentará mucho; pero en ese momento se solidificó el metal y no es crítico el estado de la arena.
- **Desprendimiento:** Es la facilidad de la arena para sacudirla o sacarla después que solidificó la pieza. Si la arena tiene mucho aglutinante se endurece y se hace difícil separarla de la pieza fundida.
- **Tamaño y forma del grano.** La arena debe tener un tamaño de grano dependiente de la superficie que se trate de producir, y los granos deben ser irregulares hasta tal grado que mantenga suficiente cohesión.

### 4.4. AGLOMERANTES Y AGLUTINANTES

Los aglutinantes utilizados para la preparación de la arena de moldeo pueden clasificarse en:

## a) AGLUTINANTES INORGANICOS DE TIPO ARCILLOSO

**Arcillas:** Las propiedades aglutinantes de la arcilla depende de las dimensiones y de la forma de las escamas cristalinas de la que está compuesta, cuanto más pequeñas son, su poder aglutinante es mayor. Sus características físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2  $\mu\text{m}$ ).

Pueden absorber con mucha facilidad agua u otras moléculas, las arcillas son eminentemente plásticas, esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. La función de la arcilla en el agregado de moldeo es conferirle plasticidad, cohesión resistencia mecánica.

**Bentonitas:** usadas con mas frecuencia, proviene de cenizas volcánicas, esta se diferencia de la arcilla en que tiene una capacidad de absorción mucho más elevada, en el agua aumenta hasta en 16 veces su volumen primitivo, y su poder aglutinante es de 2 a 7 veces mayor que el de la arcilla. La bentonita se emplea en una proporción del 2 al 4% del peso de arena.

Las arenas de moldeo están compuestas generalmente por bentonita, que proporciona cohesión y plasticidad a la mezcla, facilitando su moldeo y dándole resistencia suficiente para mantener la forma adquirida después de retirar el moldeo y mientras se vierte el material fundido. Las bentonitas pueden ser tanto sódicas como cálcicas, según el uso a que se destine el molde. La bentonita sódica se usa en fundiciones de mayor temperatura que la cálcica por ser más estable a altas temperaturas, suelen utilizarse en fundición de acero, hierro dúctil y maleable y en menor medida en la gama de los metales no féreos. Por otro lado la bentonita cálcica facilita la producción de moldes con más complicados detalles y se utiliza, principalmente, en fundición de metales no féreos.

El aumento de los costos de las materias primas está forzando a las fundiciones a recuperar las mayores cantidades posibles de mezclas de arenas para ser usadas de nuevo, pero cuando la mezcla alcanza temperaturas superiores a los 650°C, pierde muchas de sus propiedades, que no pueden ser recuperadas.

## b) AGLUTINANTES INORGANICOS CEMENTOSOS

**Cemento Pórtland:** Se emplea en la proporción del 8 al 10% en mezcla con arena silíceo. Los moldes elaborados con esta mezcla se endurecen a temperatura ambiente por el fenómeno de fraguado del cemento, por lo cual no es necesario utilizar estufas de secado.

**Silicatos:** El efecto aglutinante del silicato de sodio es debido a su descomposición, por acción del CO<sub>2</sub> del aire. La disgregabilidad de la mezcla se facilita añadiéndole harina de madera en un 2% aproximadamente.

### c) AGLUTINANTES ORGANICOS

**Aglutinantes cereales:** Dentro de estos el más importante es la dextrina, la cual se extrae del almidón de los granos. Se emplean generalmente para impedir que la superficie del molde pierda rápidamente su humedad. A elevadas temperaturas arde rápidamente pero esto disminuye la resistencia de la arena que resulta más fácilmente disgregable, su desventaja es que obstruyen los huecos de la arena, disminuyendo su permeabilidad.

**La lignita:** Tiene características similares a las de la melaza, con la diferencia que no se fermenta como esta, es empleada en la unión de aglutinantes arcillosos, para evitar la formación de costras en la superficie de los moldes.

**El alquitrán:** Subproducto de la destilación de la hulla, da una elevada resistencia en seco, es muy resistente a la absorción de la humedad.

**Resinas naturales o sintéticas:** Se comportan como el alquitrán, pero solo desarrollan su acción aglutinante cuando se someten al calor. Entre las resinas naturales tenemos la del pino, que se extraen con solventes de la madera.

**Los aceites:** Son el aglutinante para la obtención de noyos ya que le dan cohesión, rigidez y dureza a la mezcla. Los noyos se emplean para realizar las partes huecas en una pieza.

## 4.5. MOLDEO

Se llama así a la técnica utilizada en la elaboración de moldes de arena, estos se pueden clasificar en: moldeo a mano (manuales), semimanuales y a maquina.

Los moldes se usan para producir grandes piezas moldeadas de hierro fundido, acero o metales no ferrosos de configuración complicada.

### 4.5.1. MOLDES

En la fundición se emplea generalmente moldes de arena y moldes de metal (moldes de coquilla), el molde de arena no puede emplearse nada más que una sola vez, ya que después de haberse enfriado la pieza, hay que destruirlo para poderla extraer. El molde de metal es durable, ya que esta hecho de fundición de hierro o de acero resistente al calor. Las piezas de fundición obtenidas con el presentan la superficie mas limpia, forma mas exacta y mejores propiedades de resistencia que las piezas producidas en molde de arena. Al moldear en la arena el moldeador debe ser muy cuidadoso en el momento de retirar el modelo y cerrar la caja, para evitar que la arena suelta caiga en cavidad, también debe tomar en cuenta la elevada temperatura de colado de los metales, el desarrollo de los gases durante la colada y muchas otras cosas, para llegar a obtener una pieza de fundición utilizable.

#### 4.5.2. CAJAS DE MOLDEAR

La mayoría de las piezas son fundidas en moldes cerrados, es decir en cajas de moldeo, estas son generalmente bastidores rectangulares o redondos de fundición, acero o metal con ojales, agujeros de guía y muñones giratorios. Las espigas de guía sirven a la hora de montar la caja superior y la inferior hacen que ambas partes coincidan en su posición exacta para que la pieza obtenida no tenga defectos.

La elaboración de los moldes se realiza apisonando la arena dentro de marcos rígidos de las cajas de moldear. Para facilitar la salida de los gases del molde y disminuir el peso de la caja en las paredes de las cajas moldeadas grandes se hacen ranuras dispuestas en filas paralelas.

#### 4.5.3. TECNICAS DE MOLDEO

- **Moldeo a mano:** Es un trabajo un poco pesado para el moldeador ya que requiere de esfuerzo corporal porque el moldeo es manual, y se lo realiza mediante moldes en tierra y moldes en cajas.
- **Moldeo semimanual:** Se lo realiza con apisonadores neumáticos, este método es más rápido que el anterior, pero produce una distribución desigual del grado de apisonado. El apisonado consiste en compactar la arena de moldeo alrededor del modelo, este varía de acuerdo al tipo de moldeo que se realice.
- **Moldeo a máquina:** Se emplea máquinas de moldear para compactar la arena, y se utiliza especialmente en la fabricación de piezas en serie, con esto se consigue una elaboración económica de los moldes, también se facilita la extracción del modelo de la arena. Existen máquinas de moldear por vibración y presión, máquinas de moldear con placa de inmersión y vibración, etc.

#### 4.5.4. METODOS DE MOLDEO

- **Arena verde:** Los moldes realizados con esta arena deben utilizarse tan pronto como se termine su realización, para evitar que se produzca algún cambio en el contenido de humedad. El contenido de humedad y la permeabilidad, deben controlarse cuidadosamente para evitar atrapar gases que puedan ocasionar la aparición de vacíos en la pieza fundida.
- **Arena seca:** En este caso se elimina la humedad por calentamiento o permitiendo que el molde permanezca un gran periodo de tiempo sin utilizarse hasta que se encuentre completamente seco, luego el molde se cierra y se vierte el metal fundido. Este tipo de molde contribuye a la formación de una superficie más lisa. Para producir piezas pesadas debe utilizarse un molde más fuerte.
- **Moldes en tierra:** Según este método, el molde se elabora en un lecho, directamente en el taller de fundición, el método de moldeo se lo realiza

mediante maquinas y es un sistema muy conveniente para fundir piezas de gran tamaño.

- **Moldeo en cajas:** Se coloca para ello el modelo sobre una tabla luego se pone encima la caja inferior vacía, posteriormente se la llena con arena y se apisona fuertemente. Se da la vuelta a la caja inferior, se alisa la superficie de arena y se colocan: el bebedero o colada y la salida de los gases o rebosaderos. Por las salidas de los gases, o rebosaderos, puede escapar el aire y vigilarse la ascensión del metal durante la colada; los rebosaderos tienen también la misión de evitar la formación de cavidades o “rechupes”.
- **Fundición en coquilla:** En esta pueden colocarse casi todos los materiales susceptibles a ser colados, pero sobre todo las aleaciones de metales ligeros y pesados no férreos. La coquilla es casi siempre de hierro fundido, mientras que los hoyos o machos se hacen de arena o de acero resistente al calor, la colada del metal se realiza en pequeñas coquillas mediante un balde o cuchara.
- **Moldeo en cera:** Este procedimiento es apto para piezas que poseen detalles pequeños dando moldeos precisos pero perdiendo el modelo en cada operación, ya que el metal ocupa el espacio de la cera derretida. Una modalidad de este procedimiento es que permite obtener piezas de aleaciones refractarias o inoxidable en las cuales el trabajo de acabado puede ser suprimido o por lo menos disminuido en gran parte, este es el caso de piezas de armamento, de maquinas de coser, maquinas de calcular o de escribir, etc.
- **Moldeo a presión:** Consiste en introducir, con ayuda de una maquina, una aleación fundida o en estado pastoso, dentro del molde. Se aplica para un número de piezas elevado y permite suprimir totalmente o en partes el mecanizado, mejorar las dimensiones de las piezas y disminuir el tiempo de control de operación. Por este procedimiento se fabrican muchísimas piezas de automóvil y de aviación, de contadores de agua o de gas, etc.

#### 4.6. HERRAMIENTAS PARA MOLDEAR A MANO

Las herramientas de moldeo juegan un papel muy importante ya que se utilizan para manipular la arena, confeccionar el molde, retocarlo y dejarlo en condiciones de recibir el metal fundido.

A continuación se indican las herramientas más utilizadas en el taller de moldeo:

- a) **Palas:** Se utilizan para mover y coger la arena del montón, para luego echarla al tamiz o en la caja que rodea al modelo.
- b) **Tamiz:** Se emplea para obtener arena fina la se la debe extender sobre el modelo como una primera capa.



- c) **Atacadores o pistones:** Sirve para apisonar la arena en la caja , para moldes grandes se emplean pistones neumáticos que comprimen la arena en forma muy uniforme.
- d) **Reglas de Hierro:** Se emplea para retirar la arena sobrante en la cara superior de las cajas de moldeo.
- e) **Aguja:** Se utiliza para hacer numerosos respiraderos en el molde para aumentar así la permeabilidad del mismo
- f) **Maza:** Se usa para extraer el modelo para lo cual primero se abre la caja con mucho cuidado, se golpea el modelo en todas las direcciones del plano horizontal y después se extrae con mucho cuidado.

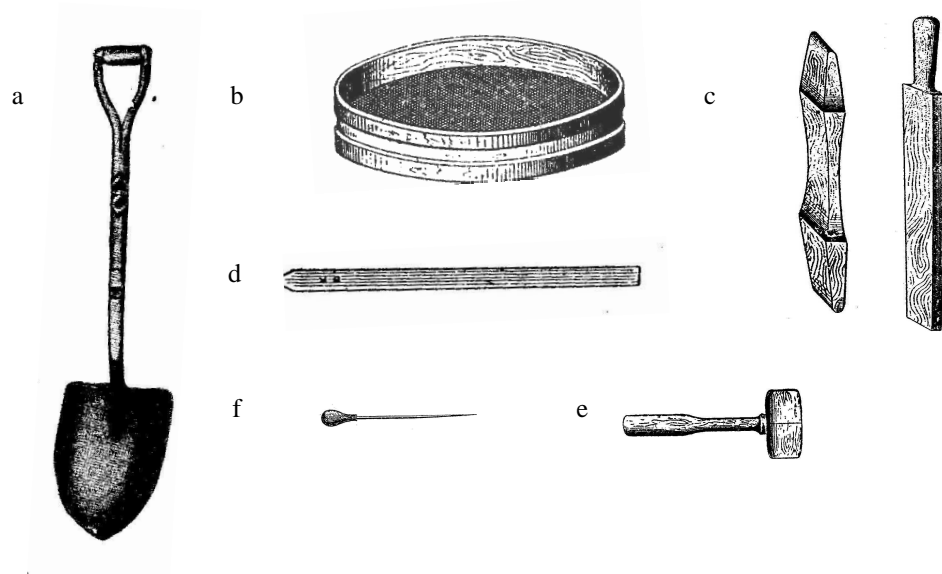


Fig. 3.- Herramientas de moldeo

Para finalizar el trabajo hay que corregir, retocar o alisar el molde para lo cual utilizamos los siguientes utensilios:

- g) **La paleta cuadrada**, de corazón y de otras formas para alisar superficies planas muy extensas y también curvas, de gran radio.
- h) **Los ganchos**, para retocar puntos poco accesibles o sacar arena caída en sitios profundos.
- i) **Los alisadores**, de varias formas, para salientes y entrantes, curvos o rectos.
- j) **Los pinceles**, brochas y cepillos, para humedecer los bordes del molde, ya que secan muy rápidamente y se rompen con facilidad.

- k) **Fuelles y sopladores**, para quitar los residuos de arena y polvo que queda en el fondo de los moldes.
- l) **Sacos de algodón**, para espolvorear la superficie de los moldes con carbón fino.
- m) **Cepillos**, para limpiar los modelos.
- n) **Las espátulas**, también de formas muy diversas, para superficies de poca extensión.

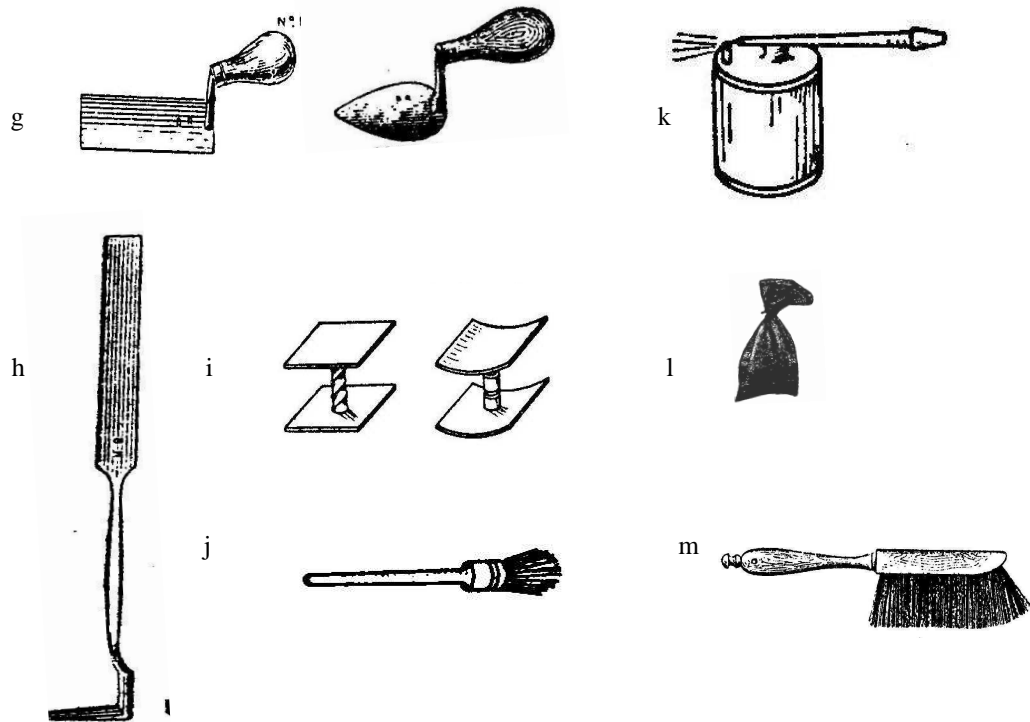


Fig. 4.- Herramientas para retocar el molde

Las aristas del molde se refuerzan con clavos y ganchos que se colocan de forma que queden aseguradas aquellas partes que podrían ser arrastradas por el flujo del metal.

Después de proceder a una cuidadosa limpieza y acabado, con espátulas, pinceles, fuelles, etc., puede finalmente, cerrarse el molde con mucho cuidado para evitar que se dañe.

#### 4.7. CUCCHARAS O CALDEROS

Para transportar y distribuir el metal líquido del horno de fusión a los moldes, se emplean cucharas que reciben el metal, ya sea directamente del pico del cubilote, o del pico de un ante crisol. Estos recipientes son de acero, soldados o remachados, revestidos con barro o ladrillos refractarios y antes de su uso deben ser secados y calentados para evitar explosiones en el momento de la colada.

En el caso en que únicamente se vacían pequeños moldes, y las áreas de vaciado están cerca de la unidad de fusión, el metal puede ser recibido por cucharas pequeñas con un solo brazo, con una capacidad de 15 a 18 Kg. estas pueden ser fácilmente transportadas por un operario.

Para transporte de cantidades mayores de metal entre 50 a 85 Kg. se utilizan cucharas de doble brazo para ser manejada por dos operarios, uno de los brazos posee dos manubrios para facilitar el manejo de la herramienta al fundidor.

Las cucharas de vaciado entre 100 a 300 Kg. de capacidad son colocadas sobre carritos o monorraíl y empujadas a mano.

En fundiciones grandes y altamente mecanizadas, en las que hay una mayor demanda de metal, se emplean grúas viajeras para manejar grandes cucharas distribuidoras.

#### **4.7.1. TIPOS DE CUCHARAS**

a) Clasificación de las cucharas según su forma básica:

- Cucharas de costados rectos, la ventaja de esta es su facilidad para revestir con ladrillos, permitiendo que las juntas de los ladrillos cierren mejor.
- Cucharas de costados inclinados, su principal ventaja es que proporciona más espacio, debido a su pequeño diámetro en el fondo, en lugares en que los moldes se colocan muy próximos entre sí. Los costados inclinados facilitan la fácil remoción del revestimiento.
- La cuchara cilíndrica tiene ventajas sobre las cucharas de costados inclinados y de costados rectos, tanto para vaciar moldes medianos como para moldes pequeños. Se requiere un esfuerzo mínimo para operarla, porque requiere menor levante de la cuchara durante la operación de vaciado. La desventaja de la cuchara cilíndrica está en que es más difícil de revestir. Se han fabricado refractarios de formas especiales para hacer el revestimiento menos difícil.

b) Cucharas de tipo especial:

- Cucharas cerradas de forma cilíndrica y eje horizontal, conservan el metal caliente durante más tiempo, con una capacidad hasta de 450 Kg.
- Cucharas de sifón o de diafragma, en los cuales se descorifica el metal más fácilmente ya que este es extraído del fondo de la cuchara.
- Cucharas de tapón, en estos el agujero de colada está en el fondo y puede ser abierto o cerrado mediante un tapón de barro.
- Cucharas basculantes, son suspendidas de monorraíl y pueden ser maniobradas por un solo operario.

Durante la colada se debe mantener limpia la superficie del metal líquido, mediante un espumador, el cual debe estar limpio y ser calentado previamente.

Para obtener una buena fundición se debe verter el metal lo suficiente caliente y con la mayor rapidez posible al molde, así los gases y las inclusiones extrañas, tienen suficiente tiempo para escapar antes que el metal se solidifique, (se obtienen buenos resultados con temperaturas entre 1200° y 1400° C). El hierro en estado líquido debe tener una temperatura uniforme y debe de llenar las partes del molde antes que empiece la solidificación.

## **CAPITULO V**

### **EQUIPO DE SOPLADO**

#### **5.1. CARACTERISTICAS**

El equipo de soplado es un factor muy importante para el adecuado funcionamiento del cubilote, por lo tanto su instalación debe realizarse en forma adecuada:

- El soplador está ubicado al mismo nivel de la caja de vientos, de modo que la conducción del aire esta sobre un plano horizontal.
- La conducción se unirá tangencialmente a la caja de vientos, de manera que al penetrar el flujo de aire no choca sobre ninguna pared, y es obligado a recorrer circularmente la caja de vientos distribuyéndose de forma uniforme a las toberas.
- Es preferible utilizar ductos redondos que cuadrados, ya que las pulsaciones tienden a causar rotura o hendimiento de las esquinas.
- Para obtener mejores características en el flujo y disminuir la fricción, la tubería de aire debe estar recta y su longitud cerca de 14 veces su diámetro.
- La unión del ducto con la caja de vientos y todas las conexiones deben estar bien efectuadas para evitar pérdidas o fugas.

El equipo de soplado es seleccionado dependiendo de las características del cubilote. Se toman en cuenta factores principales como: tipo y tamaño del cubilote, régimen de fusión, relación hierro – coque, tamaño y calidad del coque, etc.

#### **5.2. TIPOS DE SOPLADORES**

Los sopladores empleados generalmente en servicio de cubilotes son de dos tipos: sopladores centrífugos y sopladores de émbolos rotativos o volumétricos.

##### **5.2.1. SOPLADORES CENTRIFUGOS**

Este está constituido principalmente por un órgano móvil llamado rodete giratorio, el cual está dentro de una envoltura fija, formado por dos discos, uno de estos está agujereado en la parte central, y el otro está unido por medio de un cubo a un árbol giratorio. Entre ambos discos hay fijadas un cierto numero de palas. Durante la rotación, el fluido es aspirado al interior del rodete a través de la abertura del disco agujereado y centrifugado hacia el exterior, donde es recogido por la envoltura fija, que tiene forma de caracol, cuya sección gradualmente creciente lo canaliza en una tubería. La envoltura fija puede estar hecha de hierro colado o fabricada con placas de acero. Este tipo de soplador está impulsado generalmente por un motor eléctrico de alta velocidad.

En el soplador centrífugo se puede controlar la presión de descarga, instalando en la entrada o descarga del soplador una válvula de mariposa o del tipo de diafragma con objeto de reducir la presión en la caja de viento a la requerida para la operación del cubilote en particular.

### 5.2.2. SOPLADOR DE EMBOLOS ROTATIVOS O VOLUMETRICOS

En este sistema de máquinas, mediante la rotación simultánea de dos órganos móviles compenetrantes o rotores, dentro de un cuerpo envolvente construido de modo que no se establezca nunca comunicación directa entre la boca de impulsión y la de aspiración, el fluido es transportado al conducto impelente, que cumple la función de depósito. Los ventiladores de émbolos rotativos funcionan en general a poca velocidad, por lo cual requieren el accionamiento por transmisión.

### 5.3. CONTROL DEL EQUIPO DE SOPLADO

Para controlar la presión del aire en los hornos de fundición, se emplea el tubo pitot, este fue el primer elemento primario empleado en medidores de volumen aplicados a la operación de un cubilote. En general un tubo pitot para la indicación o registro de flujo, consiste de dos miembros, uno para indicar la suma de la presión estática y la cinética en un punto dentro de una vena de aire en movimiento al registrar la intensidad del impacto debido a la interrupción de una pequeña parte de flujo, y el otro para indicar solamente la presión estática. A continuación se presenta un diagrama de un pitot, donde  $P_o$  es la suma de las dos presiones (estática y cinética) y  $P$  es la presión estática.

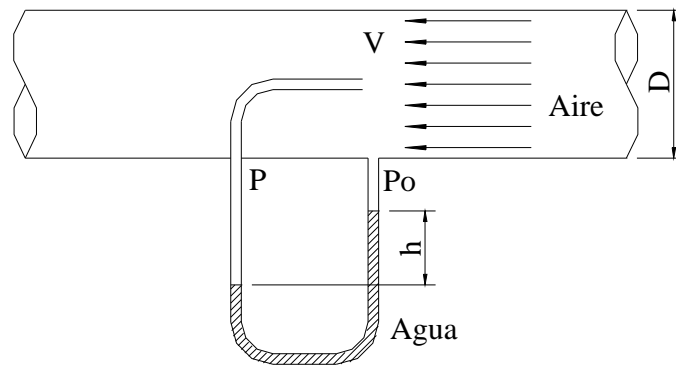


Fig. 5.- Tubo pitot.

#### Análisis matemático para un Pitot Ideal

Las ecuaciones que definen la presión de estancamiento ( $P_o$ ) en un Pitot son:

1.  $P_o = P + 1/2 \rho V^2$ , cuando se trata de un Flujo Incompresible.
2.  $P_o = P (1 + (k-1) M^2/2)^{(k/(k-1))}$ , cuando se trata de un Flujo Compresible.

Un Flujo es Incompresible cuando el número de mach es menor a 0.3 ( $M < 0.3$ ).

Este número se define como:

$$M = V/c$$

V: velocidad del flujo.

c: velocidad del sonido.

La velocidad del sonido en el aire básicamente es función de la temperatura, una aproximación válida es:

$$c = f(T) = (k R T)^{1/2} \sim 297 \text{ m/s (mínima).}$$

Por tanto para utilizar la ecuación de flujo incompresible, la velocidad del flujo debe ser aproximadamente:

$$V < 0.3 (297 \text{ m/s})$$

$$V < 89.1 \text{ m/s}$$

Analizando la figura anterior se tiene:

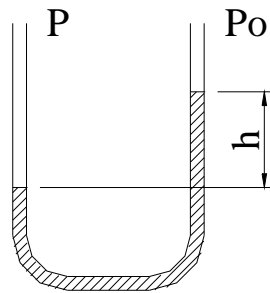


Fig. 6.- Gráfico de presiones

$$3. \quad P_o - P = \rho_{\text{agua}} g h - \rho_{\text{aire}} g h$$
$$P_o - P = g h (\rho_{\text{agua}} - \rho_{\text{aire}})$$

Despejando V de la ecuación (1)

$$4. \quad V = (2(P_o - P)/\rho_{\text{aire}})^{1/2}$$

Reemplazo ecuación (3) en (4)

$$V = (2 g h (\rho_{\text{agua}} - \rho_{\text{aire}})/\rho_{\text{aire}})^{1/2}$$
$$V = (2 g h (\rho_{\text{agua}}/\rho_{\text{aire}} - 1))^{1/2}$$

La última ecuación representa la velocidad del flujo idealmente. En realidad esta ecuación debe tener un factor de corrección para su aplicación en el ducto mismo.

## CAPITULO VI

### HIERRO FUNDIDO

#### 6.1. CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES

El hierro fundido o colado es de composición y estructura similares al arábico crudo, producido por el alto horno. Es un material metalúrgico barato, ya que los costos de producción son relativamente bajos y no son necesarios procesos especiales de afinación.

El hierro fundido es una aleación de hierro y carbono, con la presencia de otros elementos como el silicio, manganeso, azufre y fósforo en cantidades menores. Se diferencian del acero porque son producidos por el proceso de vaciado, contienen cantidades apreciables de silicio y además su concentración de carbono está arriba del 1.75% mientras que en los aceros está abajo de este valor.

Las diversas formas de hierro colado representan diferentes combinaciones del hierro, el carbono y sus componentes, dependiendo de cómo se enfría el metal y la presencia de silicio y de otras aleaciones.

El hierro colado fundido contiene el carbono en solución como carburo de hierro, cuando el hierro se cuele y se enfría, su capacidad para mantener el carburo en solución disminuye. A las velocidades moderadas de enfriamiento comunes en la práctica, gran parte del carburo de hierro se descompone y el carbono se precipita en forma de hojuelas de grafito, por lo tanto el hierro colado es débil y frágil. El grafito libre imparte la coloración nominal del hierro gris, que por lo común contiene de 3 a 4% de carbono.

Otras formas de hierro colado diferentes del hierro gris resultan cuando el metal se enfría a velocidades más lentas o más rápidas. Con un enfriamiento lento y un alto contenido de silicio y carbono, se obtiene un hierro colado denominado suave o abierto. Cuando la velocidad de enfriamiento es rápida, el carburo de hierro tiene menos oportunidad de descomponerse antes de que el metal solidifique, en consecuencia este hierro es duro y quebradizo, a este se le llama hierro vetado por su apariencia. Puede ser deseable endurecer ciertas áreas de un colado para que soporte el desgaste. Esto se logra enfriando con rapidez las áreas mediante enfriadores de metal en las paredes del molde y el producto se denomina hierro colado enfriado o colados enfriados.

El hierro maleable tiene carbono libre en masas pequeñas, esto lo hace dúctil, resistente al impacto y con facilidad de maquinado. La estructura se obtiene produciendo primero en forma esencial un colado de hierro blanco, calentando nuevamente el colado arriba del límite de transformación, manteniéndolo a esa temperatura por cierto tiempo y enfriándolo después con lentitud.

El hierro dúctil, nodular o con grafito esferoidal tiene su grafito en diminutas esferitas, esta forma se obtiene adicionando (precisamente antes del colado) pequeñas cantidades de magnesio, cerio u otros elementos en un hierro con alto contenido de carbono y silicio, el hierro dúctil debe tener un contenido de azufre inferior a 0.01%.



## a) Características de los hierros fundidos

- Se pueden fabricar piezas de diferente tamaño y complejidad.
- Son más fáciles de maquinar que los aceros.
- En su fabricación no se necesitan equipos ni hornos muy costosos.
- Absorben las vibraciones mecánicas y actúan como autolubricantes.
- Son resistentes al choque térmico, a la corrosión y de buena resistencia al desgaste.
- No pueden ser sometidos a deformación plástica.
- No son dúctiles ni maleables.
- Son poco soldables

## b) Propiedades:

- **Temperatura de fusión**  
Varía con la composición y el aspecto de la fundición pero el promedio es de 1130° a 1250° C.
- **Aspecto**  
La superficie exterior en la fundición es de color gris oscuro; al aire libre, la superficie externa se cubre de herrumbre de color rojo pardo que penetra lentamente en el interior.
- **Peso específico**  
El peso específico varía con la composición y por consiguiente con el aspecto de la fundición; se puede admitir, por término medio:  
Fundición gris = 7 a 7.2
- **Fluidez**  
Es la propiedad del metal líquido de correr y de llenar bien los moldes: en igualdad de temperatura, la fundición fosforosa es más fluida que la fundición con poco fósforo.
- **Contracción**  
El metal al solidificarse, sufre una contracción y esta varía según los obstáculos mayores o menores que encuentra la colada en el molde.
- **Resistencia a la tracción**  
La fundición gris tiene una carga de rotura a la tracción, de cerca de 15 Kg/mm<sup>2</sup> llega a los 30, 40 y 45 Kg/mm<sup>2</sup>.
- **Resistencia a la flexión**  
Puesto que en la flexión las fibras del elemento quedan tensas en la parte convexa, y comprimidas en la cóncava, la resistencia a la flexión varía según la orientación de la sección.
- **Resistencia al choque**  
Las fundiciones grises, no resisten muy bien los choques y son frágiles porque no sufren deformaciones plásticas. Las fundiciones maleables y las fundiciones dúctiles, por el contrario, resisten bien; no obstante, si los choques están contenidos en el límite de seguridad; las fundiciones grises tienen un óptimo comportamiento, por su propiedad característica de amortiguar las vibraciones, por esto, además de por razones económicas, se ha llegado a sustituir los

cigüeñas de acero tratado para compresores y para motores de combustión interna, por árboles colados con fundición gris, obteniéndose un funcionamiento más regular más suave y menos ruidoso.

- **Dureza**

La dureza de la fundición es relativamente elevada, tiene una dureza de 140 a 250 Brinell, se puede mecanizar fácilmente, porque la viruta se desprende mejor, la viruta es siempre escamosa, excepto en las fundiciones maleables.

- **Resistencia química**

La fundición tiene una discreta resistencia química, es decir, a los ácidos, a las oxidaciones y al fuego. Por esto se hacen elementos para máquinas e instalaciones químicas y elementos para máquinas e instalaciones térmicas (parrillas, calderas, etc).

- **Otras propiedades**

La fundición puede recibir baños galvánicos puede ser niquelada, galvanizada en caliente, estañada y esmaltada al fuego (piezas de uso doméstico y para la industria química).

## 6.2. INFLUENCIA DE LOS CONSTITUYENTES NORMALES EN EL HIERRO

Existen muchos elementos químicos que dan diversas características a las aleaciones ferrosas, sin embargo hay algunos que se destacan por sus efectos muy definidos, a continuación se presentan algunos de estos elementos.

- **Carbono:** Después del hierro el carbono es el elemento más importante, ya que ejerce gran influencia sobre las propiedades físicas del hierro colado. Arriba del 4% baja la calidad del hierro, sin embargo este elemento le da dureza, y por medio de sus diferentes formas en las que se presenta, se pueden definir varias propiedades de las aleaciones y su grado de maquinabilidad.

Los hierros colados comerciales no son simples aleaciones de hierro y carbono, estos invariablemente contienen proporciones de silicio, manganeso, fósforo y azufre. La presencia de estos elementos, afecta la solubilidad del carbono.

- **Silicio:** El siguiente elemento en importancia al carbono, es el silicio, ya que esta presente en cantidades considerables en todos los hierros colados. El contenido de silicio en el hierro es un factor muy importante para controlar las propiedades. Este elemento hasta un 3.25% reduce la dureza y contracción del hierro, también disminuye su resistencia y densidad. Las fundiciones con bajo contenido de silicio responden mejor a los tratamientos térmicos. El silicio arriba de 3.25% actúa como endurecedor, mejorando las propiedades mecánicas del hierro, con buena resistencia a la presión y al desgaste. La presencia de este elemento en el hierro colado es beneficiosa ya que aumenta la fluidez del hierro, mejorando así sus propiedades de vaciado.

- **Manganeso:** Es un elemento que cuando se agrega a la fundición arriba del 0.5% neutraliza el efecto perjudicial del azufre. Como la mezcla producto del azufre y el manganeso tiene baja densidad flota y se elimina en forma de escoria. También aumenta la fluidez, resistencia y dureza del hierro.

El manganeso en exceso incrementa la dureza y la tendencia al blanqueo, como el azufre es un endurecedor más poderoso que el manganeso, el primer efecto de la adición del manganeso, frecuentemente causa un reblandecimiento debido a la remoción de la dureza impartida por el azufre. El manganeso también aumenta la fluidez del hierro colado.

- **Azufre:** Este elemento debe ser controlado ya que la presencia de este tiende a contrarrestar la acción del silicio. Su acción neutralizante es de 10 a 25 veces, por lo que un aumento de 0.1% de azufre puede requerir de 1 a 2.5% de silicio para contrarrestar su efecto. Blanquea la fundición, disminuye la colabilidad del hierro, se obtienen piezas defectuosas con grietas, tensiones y aumento de dureza.
- **Fósforo:** Mejora la colabilidad pero la resistencia es disminuida, por lo que de manera general este elemento no debe exceder el 0.3% en la aleación. El efecto del fósforo al incrementar la fluidez y colabilidad de los hierros al mismo tiempo ayudará la obtención de piezas sanas donde se tienen variaciones desiguales de sección.

### 6.3. ELEMENTOS DE ALEACION EN EL HIERRO COLADO

Los elementos de aleación se usan para mejorar las propiedades de resistencia a la tracción y a la flexión, de dureza, de resistencia al desgaste, al calor y a la corrosión. Entre los principales elementos de aleación tenemos:

- **Níquel:** Este elemento hasta contenidos del 2 %, mejora la mecanización y aumenta la resistencia al desgaste. Una adición de 3% o más de níquel aumenta la dureza y la resistencia al desgaste. También reduce la tendencia del hierro a agrietarse en las secciones delgadas.  
El níquel, en grandes cantidades desde el 16 al 18% en el hierro colado, eleva la resistencia a la corrosión y la oxidación a altas temperaturas.
- **Cromo:** Es un fuerte estabilizador de carburos y por tanto evita la formación de grafito, en cantidades de hasta un 5% y en presencia del 2% de silicio, el cromo actúa para aumentar la resistencia y dureza, resistencia al desgaste, abrasión y calor. Este elemento aumenta el endurecimiento pero cuando se emplea en exceso afecta en forma desfavorable a la maquinabilidad del hierro.
- **Molibdeno:** Se emplea a menudo en cantidades hasta del 1%, en pequeñas cantidades del 0.20 a 0.50% mejora notablemente la resistencia a la tracción y aumenta la tenacidad o resistencia al impacto. También mejoran la resistencia al desgaste y a la abrasión.

- **Vanadio:** Estimula la resistencia al calor en los hierros colados, usualmente se añade en cantidades pequeñas, menores de 0.25%. la resistencia a la dureza aumenta cuando se usa vanadio en combinación con otros elementos de aleación. El vanadio encuentra su mayor aplicación en piezas gruesas y endurecidas como rodillos para laminadores, dados, etc.
- **Cobre:** Tiene solubilidad limitada en el hierro fundido, por esta razón no debe superar la cantidad de 1.50%, ya que si es añadido en exceso puede aparecer como una capa de cobre metálico. El cobre tiene poca influencia en las propiedades mecánicas, siendo su principal valor el de mejorar la resistencia a la corrosión atmosférica.

#### 6.4. VARIEDADES Y USOS DEL HIERRO FUNDIDO

Los hierros de fundición pueden clasificarse en los siguientes grupos, según sus propiedades y usos:

- **Hierros fluidos:** Estos pueden usarse cuando la resistencia mecánica no es muy importante y en los cuales se obtiene una alta fluidez por medio del silicio (2.5 – 3.5%) y fósforo (hasta 1.5%). Estos dos elementos mejoran la fluidez, y el silicio asegurará que las secciones delgadas tengan una estructura gris razonablemente tenaz, puesto que el silicio evita el enfriamiento profundo. Estos hierros se utilizaban para la fabricación de postes de alumbrado, chimeneas y pasamanos, pero en la actualidad han sido remplazados por otros materiales en estas aplicaciones.
- **Hierros de ingeniería:** Deben poseer una resistencia razonable, las mejores propiedades mecánicas y una buena maquinabilidad. El contenido del silicio dependerá del espesor de la sección que va a vaciarse, en general, no excede el 2.5% para vaciados de sección delgada y 1.2% para vaciados en secciones gruesas.

El contenido de fósforo deben mantenerse bajo cuando es necesario un vaciado resistente al impacto, aunque puede existir hasta un 0.8% de fósforo para mejorar la fluidez. El azufre debe mantenerse bajo el 0.1% para evitar la fragilidad. Los hierros de este tipo pueden tener superficies duras, resistentes al desgaste y templadas en varias partes de la pieza de fundición si se desea.

- **Hierros vaciados pesados:** No requieren un alto contenido de silicio ya que existe poco peligro de enfriamiento rápido. Generalmente el silicio no sobrepasa el 1.5% con un contenido hasta del 0.5% de fósforo para vacados tales como columnas y grandes bastidores de máquinas.

## CAPITULO VII

### DETERMINACION DE VALORES, EQUIPOS Y MATERIALES DEL HORNO DE CUBILOTE

#### 7.1. CAPACIDAD DE PRODUCCION

Para el cálculo de la capacidad de producción es necesario determinar su área interior ( $A_i$ ) que detallamos a continuación.

$$A_i = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$d$  = diámetro interior del cubilote

Remplazando los valores:

$$A_i = \frac{\pi \times (34\text{cm})^2}{4}$$

$$A_i = 907,92 \text{ cm}^2$$

En la práctica la producción de los cubilotes medianos es de 0,703 kg por hora y por centímetro cuadrado de sección. Por lo tanto si realizamos la siguiente relación obtendremos la capacidad de producción en kg/h. (Ref. 1).

$$\begin{array}{l} 1 \text{ cm}^2 \quad \text{-----} \quad 0,703 \text{ Kg/h} \\ 907,92 \text{ cm}^2 \quad \text{-----} \quad X \end{array}$$

En donde  $X$  = capacidad de producción

$$X = (907,92 \text{ cm}^2 * 0,703 \text{ Kg/h}) / 1 \text{ cm}^2$$

$$X = 638,26 \text{ Kg/h}$$

#### Relación coque / metal

Relación coque / metal	Capacidad de producción	
6:1	3/4	Tn/h
7:1	7/8	Tn/h
8:1	1	Tn/h
10:1	1 1/4	Tn/h
12:1	1 1/2	Tn/h

#### Relación coque/metal

Relación coque/metal	Capacidad de producción	
6:1	530	Kg/h
7:1	619	Kg/h
8:1	708	Kg/h
10:1	885	Kg/h
12:1	1063	Kg/h

## 7.2. RESISTENCIA MECANICA

### a) Cálculo del peso de la chapa metálica

El horno de cubilote está constituido por cinco etapas, de las cuales, etapa 1 = etapa 3 = etapa 4 = etapa 5

Para determinar el peso de las diferentes etapas es necesario realizar el cálculo de su volumen para luego calcular su masa, con la utilización de las siguientes formulas:

$$v = \frac{\pi}{4} \cdot (d_e^2 - d_i^2) \cdot h$$

Donde:

$v$  = volumen de la chapa

$d_e$  = diámetro exterior

$d_i$  = diámetro interior

$h$  = es la altura de cada etapa

Remplazando los valores tenemos:

$$v_{E1} = \frac{\pi}{4} \cdot ((60cm)^2 - (59,4cm)^2) \cdot 61cm$$

$$v_{E1} = 3430,48 \text{ cm}^3$$

$$v_{E1} = v_{E3} = v_{E4} = v_{E5}$$

Luego calculamos la masa:

$$\delta = \frac{M}{v} \quad \Leftrightarrow \quad M = \delta \cdot v$$

Donde:

$M$  = es la masa

$v$  = volumen

$\delta$  = densidad del acero

Remplazando los valores tenemos:

$$M_{E1} = 3430,48 \text{ cm}^3 \cdot 7.85 \text{ gr. /cm}^3$$

$$M_{E1} = 26929,27 \text{ gr.}$$

$$M_{E1} = 26,9Kg$$

$$M_{E1} = M_{E3} = M_{E4} = M_{E5}$$

Cálculo de las etapa 2, esta difiere de las demás porque en su periferia se encuentra la caja de vientos.

Caja de vientos:

$$v_{Cv} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_e^2 - d_i^2) \cdot h$$

Remplazamos los valores:

$$v_{Cv} = \frac{\pi}{4} \cdot ((130cm)^2 - (129,4cm)^2) \cdot 34cm$$

$$v_{Cv} = 4154,032 \text{ cm}^3$$

$$\delta = \frac{M}{v} \quad \Rightarrow \quad M = \delta \cdot v$$

$$M_{Cv} = 4154,032 \text{ cm}^3 \cdot 7.85 \text{ gr/cm}^3$$

$$M_{Cv} = 32609, 14 \text{ gr.} + 3430, 48$$

$$M_{Cv} = 32,6Kg$$

Etapla 2:

$$v_{E1} = \frac{\pi}{4} \cdot ((60cm)^2 - (59,4cm)^2) \cdot 61cm$$

$$v_{E1} = 3430,48 \text{ cm}^3$$

$$M_{E2} = \delta \cdot v$$

$$M_{E2} = 3430,48 \text{ cm}^3 \cdot 7.85 \text{ gr/cm}^3$$

$$M_{E2} = 26929,27 \text{ gr.}$$

$$M_{E2} = 26,9Kg$$

$$M_{E2 \text{ Total}} = M_{Cv} + M$$

$$M_{E2 \text{ Total}} = 32,6Kg + 26.9 \text{ Kg.}$$

$$M_{E2 \text{ Total}} = 59,5 \text{ Kg.}$$

## b) Cálculo del peso del refractario.

El peso del refractario es igual en todas las etapas E1, E2, E3, E4 y E5.

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot (d_e^2 - d_i^2) \cdot h$$

Donde:

$V$  = volumen del refractario

$d_e$  = diámetro exterior

$d_i$  = diámetro interior

$h$  = es la altura de cada etapa

Remplazando los valores:

$$V_{R.E1} = \frac{\pi}{4} \cdot ((57cm)^2 - (34cm)^2) \cdot 61cm$$

$$V_{R.E1} = 100274,13 \text{ cm}^3.$$

$$V_{R.E1} = V_{R.E2} = V_{R.E3} = V_{R.E4} = V_{R.E5}$$

Luego calculamos la masa:

$$\delta = \frac{M}{V} \quad \Rightarrow \quad M = \delta * V$$

Remplazando los valores:

$$M_{R.E1} = 100274,13 \text{ cm}^3 * 3\text{gr/cm}^3$$

$$M_{R.E1} = 300822,4 \text{ gr.}$$

$$M_{R.E1} = 300,8 \text{ Kg}$$

$$M_{R.E1} = M_{R.E2} = M_{R.E3} = M_{R.E4} = M_{R.E5}$$

► Peso total entre chapa metálica y refractario.

Chapas metálicas:

$$M_{E1} = 26,9 \text{ Kg}$$

$$M_{E2} = 59,5 \text{ Kg}$$

$$M_{E3} = 26,9 \text{ Kg}$$

$$M_{E4} = 26,9 \text{ Kg}$$

$$M_{E5} = 26,9 \text{ Kg}$$

$$\Rightarrow M_{\text{Ch. Metálica}} = 167,1 \text{ Kg.}$$

Refractarios:

$$M_{R.E1} = 300,8 \text{ Kg}$$

$$M_{R.E2} = 300,8 \text{ Kg}$$

$$M_{R.E3} = 300,8 \text{ Kg}$$

$$M_{R.E4} = 300,8 \text{ Kg}$$



$$M_{R.E5} = 300,8 \text{ Kg}$$

$$\Rightarrow M_{\text{Refractario}} = 1504 \text{ Kg.}$$

$$M_{\text{Total}} = M_{\text{Ch. Metálica}} + M_{\text{Refractario}}$$

$$M_{\text{Total}} = 167,1 \text{ Kg.} + 1504 \text{ Kg.} = 1671,1 \text{ Kg.}$$

### c) Cálculo del peso de la base:

Para realizar el cálculo del peso para la base procedemos a sacar el volumen

$$V = b \cdot a \cdot e$$

Donde:

$b$  = base

$a$  = altura

$e$  = espesor

$$\Rightarrow V = 80\text{cm} \cdot 80\text{cm} \cdot 1,9\text{cm}$$

$$V = 12160 \text{ cm}^3$$

Luego calculamos la masa:

$$M_{\text{base}} = \delta \times V$$

Donde:

$\delta$  = densidad del acero

$V$  = volúmen

$$M_{\text{base}} = 7.85 \text{ gr/cm}^3 \times 12160 \text{ cm}^3$$

$$M_{\text{base}} = 95456 \text{ gr.}$$

$$M_{\text{base}} = 95,456 \text{ Kg.}$$

### d) Cálculo del peso de las cargas de hierro, coque y caliza utilizadas en la fundición

10 Cargas de chatarra de 50 Kg. = 500 Kg.

12 Cargas de coque (15% de la carga metálica) 7.5 Kg. = 90 Kg.

10 Cargas de caliza (3% de carga metálica) 1.5 Kg. = 15 Kg.

Peso total de las cargas = 605 Kg.

Si sumamos todos los pesos de las chapas metálicas, los refractarios, la base, y las cargas de hierro, coque, caliza obtendremos un peso total tenemos:

$$P_{total}: 1671,1 \text{ Kg} + 95,4 \text{ Kg} + 605 \text{ Kg.}$$

$$P_{total} = 2371,5 \text{ Kg.}$$

Este valor le dividimos para 4 y nos da como resultado la resistencia que soporta cada soporte o patas que es 592.87 Kg.

### e) Resistencia de soportes o patas

Para los soportes utilizamos un tubo redondo ASTM A36 = 36000  $Kgf / plg^2$  con un diámetro exterior de 12 cm y 11,4 cm de diámetro interior.

Para comprobar si la selección fue la correcta debemos determinar si los soportes son lo suficientemente resistentes para iniciar con la construcción del horno.

La longitud de las patas es de 95 cm de los cuales 15 cm están destinados a la sujeción del horno mediante la cimentación, los 80 cm restantes permiten la fácil apertura de la tapa inferior al final de la hornada y también la cómoda reparación del horno.

Calculamos el área de la sección transversal del tubo (Ref. 2):

$$A = \frac{\pi}{4} (de^2 - di^2)$$

Donde:

A = área de la sección transversal del tubo

de = diámetro exterior del tubo

di = diámetro interior del tubo

Remplazando valores:

$$A = \frac{\pi}{4} \bullet ((12cm)^2 - (11,4cm)^2)$$

$$A = 11,02 \text{ cm}^2$$

Calculamos el momento de inercia:

$$I = \frac{\pi \bullet (de^4 - di^4)}{64}$$

Remplazando valores:

$$I = \frac{\pi \cdot ((12\text{cm})^4 - (11,4\text{cm})^4)}{64}$$

$$I = 188,8\text{cm}^4$$

Calculamos el radio de giro:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$r = \sqrt{\frac{188,8\text{cm}^4}{11,02\text{cm}}}$$

$$r = 4,13 \text{ cm}$$

La relación de esbeltez de una columna está dada por  $l/r$ , donde  $l$  es la longitud de la columna y  $r$  el radio de giro.

Entonces tenemos:

$$\frac{l}{r} = \frac{95\text{cm}}{4,13\text{cm}} = 23$$

Cuando  $l/r < 30$ , la tensión de trabajo ( $\nu$ ) es 980 Kg. /cm<sup>2</sup> y para determinar la carga máxima ( $P$ ) que puede soportar la columna utilizamos la siguiente fórmula (Ref. 3):

$$P = A \cdot \nu$$

$$P = 11,02 \text{ cm}^2 \cdot 980 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P = 10799,6 \text{ Kg.}$$

Sabemos que cada columna debe soportar un peso 592.87 Kg., por lo tanto su utilización está más que justificada.

### 7.3. UBICACION DE ELEMENTOS

#### a) Área de toberas, dimensión y altura.

La suma del área de toberas varían entre 1/10 a 1/3 del área de la sección transversal del cubilote, o esta relación puede estar entre 12,5% – 25 %, para este horno se determinó que debe ser el 20%. (Ref. 4).

$\Rightarrow A_{tob} = 20\% A_{int}$

$$A_{tob} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \times (0.2)$$

$$A_{tob} = \frac{\pi}{4} \cdot 34^2$$

$$A_{tob} = 907,9 \text{ cm}^2 \times 0.2$$

$$A_{tob} = 181,5 \text{ cm}^2$$

$N^\circ \text{ tob} = 4$

Area de cada tobera =  $45,3 \text{ cm}^2$

Calculamos el diámetro de la tobera ( $d$ )

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot A}$$

$$d = 7 \text{ cm}$$

Tomando en cuenta de que el diámetro de cada tobera debe ser aproximadamente 7cm, utilizaremos un tubo de 6cm de diámetro que tenemos a disposición.

La inclinación de las toberas hacia el interior del horno es de  $10^\circ$ , con respecto a la altura se deben ubicar a 51 - 71 cm arriba del orificio de sangrado y como es un horno de cubilote de baja producción se las ubica a una altura de 61 cm.

### **b) Altura del orificio de sangrado**

La altura debe ser 10 a 30 cm, por razones de experiencia el valor ideal es de 15 cm respecto a la placa base. (Ref. 5).

### **c) Altura del orificio de escoriado**

Este parámetro esta dado en función directa de la cantidad de metal fundido que se desea almacenar en el crisol, este volumen no sobrepase dos cargas de metal. (Ref. 6).

El área transversal ( $A_i$ ) del crisol es  $907,92 \text{ Kg./h}$ , ya que en el horno el diámetro interior es uniforme.

La cantidad de chatarra utilizada es de 50Kg.

Cantidad de coque requerido es de 7,5 Kg.

Capacidad de producción del horno es  $638,26 \text{ Kg/h}$

Relación coque / metal 7:1

El metal equivalente en el crisol es igual a dos cargas, 1 dm<sup>3</sup> de hierro pesa 7,87 Kg/dm<sup>3</sup>, por lo tanto el volumen del crisol es:

$$V_{Crisol} = \frac{2 \cdot 50 \text{ Kg}}{7.87 \text{ Kg} / \text{dm}^3}$$

$$V_{Crisol} = 12,7 \text{ dm}^3$$

Si tomamos en consideración que el hierro en el crisol ocupa un volumen del 25% y el resto es coque tenemos:

$$V_{Crisol} = \frac{12,7 \text{ dm}^3}{25} \cdot 100$$

$$V_{Crisol} = 50,8 \text{ dm}^3$$

La altura del crisol se determina de la siguiente manera:

$$H = \frac{V_{Crisol}}{A_i}$$

$$H = \frac{50,8 \text{ dm}^3}{9,0792 \text{ dm}^2}$$

$$H = 5,59 \text{ dm}$$

$$H = 55 \text{ cm}$$

#### **d) Dimensiones de los orificios de sangrado y de escoriador**

Están situados a 90° uno del otro y como su diámetro puede estar comprendido entre el 1% a 2% del diámetro interior del cubilote, de acuerdo a nuestras necesidades se escogió el 1¼% del diámetro interior (Ref. 7):

Diámetro interior del horno: 340 mm

$$\Rightarrow (340 \cdot 1\frac{1}{4}) / 100 = 4.25 \text{ mm}$$

Por lo tanto los diámetros del sangrador y el escoriador del horno son de 40 mm.

### **g) Dimensiones de la caja de vientos**

El área transversal de la caja de vientos puede ser de 2,5 a 3,5 veces el área de toberas, se escogió el promedio de estos valores y obtenemos (Ref. 8):

$$\begin{aligned}A_{caj} &= A_{tob} \times 3 \\A_{caj} &= 181,58 \text{ cm}^2 \times 3 \\A_{caj} &= 544,74 \text{ cm}^2 \quad (1)\end{aligned}$$

La base de la caja de vientos debe ser dos veces su altura ( $h = 2b$ ):

$$\begin{aligned}A_{caj} &= b \cdot h \\A_{caj} &= b \cdot 2b \\A_{caj} &= 2b^2 \quad (2)\end{aligned}$$

**(1) en (2)**

$$\begin{aligned}544,74 \text{ cm}^2 &= 2b^2 \\b &= 16,5 \text{ cm}\end{aligned}$$

Remplazando este valor:

$$\begin{aligned}h &= 2b \\h &= 2 \times 17 \text{ cm} \\h &= 34 \text{ cm}\end{aligned}$$

### **g) Conducto del ventilador**

Según el diseño de algunos cubilotes se tiene por dato  $1/3$  del área de la caja

$$\begin{aligned}A_{caj} &= 544,74 \text{ cm}^2 \\A_{con} &= 544,74 \text{ cm}^2 \times 1/3 \\A_{con} &= 181,58 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

## **7.4. SISTEMA DE VENTILACION**

Para determinar el adecuado sistema de ventilación que se utilizará en el horno de cubilote, hay que tomar en cuenta que las condiciones de funcionamiento de una instalación de cubilotes no son nunca uniformes, por lo cuál la insuflación de aire debe ser regulable entre amplios límites.

El soplador centrífugo puede ser regulado mediante una válvula y su construcción no presenta mayor dificultad, por lo tanto este será el utilizado para administrar el caudal de aire necesario.

Tomando como referencia la siguiente tabla, se determina la presión, la cantidad de aire y la potencia aproximada que el soplador tendrá. Para cubilotes de baja producción en la

siguiente tabla sugiere un volumen de aire 12 m<sup>3</sup>/min, pero tomando en cuenta las perdidas de aire durante el proceso, se escogió un volumen de 15 m<sup>3</sup>/min, por lo cual según la tabla la potencia del ventilador será de 4 HP. (Ref. 9).

Tabla 2.- Dimensiones, producciones, cargas de coque y cantidad de aire en los cubilotes

Diámet. interior <i>di</i> (mm)	Sección Interior dm <sup>2</sup>	Espesor Revestimiento <i>s</i> (mm)	Diámetro exterior <i>de</i> (mm)	Altura		PRO. APROXIMADA		CARGAS				AIRE			
				<i>H</i> mm	Relación <i>C = H / di</i>	Fundición Mec. kg/h	Fundición gran resist. kg/h	Coque Kg	Metálicas				Presión cm. H <sub>2</sub> O	Canti- dad m <sup>3</sup> /min	Pot. de los ventiladores CV. aprox.
									8% Kg	10% Kg	12% Kg	15% Kg			
400	12,57	150	730	2800	7,---	700	---	9	120	90	75	60	20...25	12	3
450	15,9	150	780	3200	7,---	900	---	12	150	120	100	80	25...30	15	4
500	19,63	180	900	3500	6,8	1200	---	14	175	140	118	93	25...30	20	5
550	23,76	180	950	3800	6,8	1600	1300	17	215	170	142	113	30...40	27	6
600	28,27	200	1040	4000	6,6	2000	1600	20	250	200	168	133	30...45	35	7
650	33,18	200	1100	4200	6,4	2400	2000	24	300	240	200	160	35...50	42	9
700	38,48	200	1150	4400	6,2	3000	2500	28	350	280	235	186	40...60	53	11
800	50,26	220	1280	4800	6,---	3800	3100	36	450	360	300	240	50...65	65	15
900	63,62	220	1380	5400	6,---	4800	3800	46	575	460	385	305	60...70	85	22
1000	78,54	220	1480	5800	5,8	6000	4700	57	720	570	475	380	65...80	105	29
1100	95,03	250	1650	6200	5,6	7200	5700	68	840	680	570	450	70...90	125	38
1200	113,1	250	1750	6500	5,4	8500	6800	82	1020	820	690	545	75...95	150	47
1300	132,73	250	1850	7000	5,4	9900	8000	96	1200	960	800	640	80...100	165	55
1400	153,94	300	2050	7200	5,2	11400	9200	112	1420	1120	940	750	80,,,105	200	65
1500	176,71	300	2150	7500	5,---	13100	10500	128	1600	1280	1070	850	85...110	220	80
1600	201,06	300	2250	8000	5,---	15000	12000	145	1800	1450	1210	965	90...110	250	100

## 7.5. DIMENSIONES DEL HORNO

El tamaño del horno depende en gran parte de la infraestructura disponible para trabajar, la empresa FERROVAL 4C-MECANICA no dispone de un espacio muy grande por lo que las dimensiones del horno no pueden ser mayores y por ende su producción es baja.

El terreno tiene 200m<sup>2</sup> (20m x 10m), de los cuales 50m<sup>2</sup> están destinados para ubicación del horno y la preparación de la chatarra, en esta área el piso es de tierra ya que en el momento de vaciar el horno al final de la colada los residuos que caen poseen elevadas temperaturas, de igual manera para preparar la chatarra la tierra es de gran ayuda que da una mayor fijación al piso en el momento de romperla.

El área restante está destinada para el moldeo y la ubicación de los moldes de arena, con el espacio necesario para dar las facilidades necesarias a los operadores en el momento de vaciar el metal. Necesariamente esta área es pavimento, ya que aquí se prepara la arena de moldeo y se debe evitar que mezcle con otros elementos.

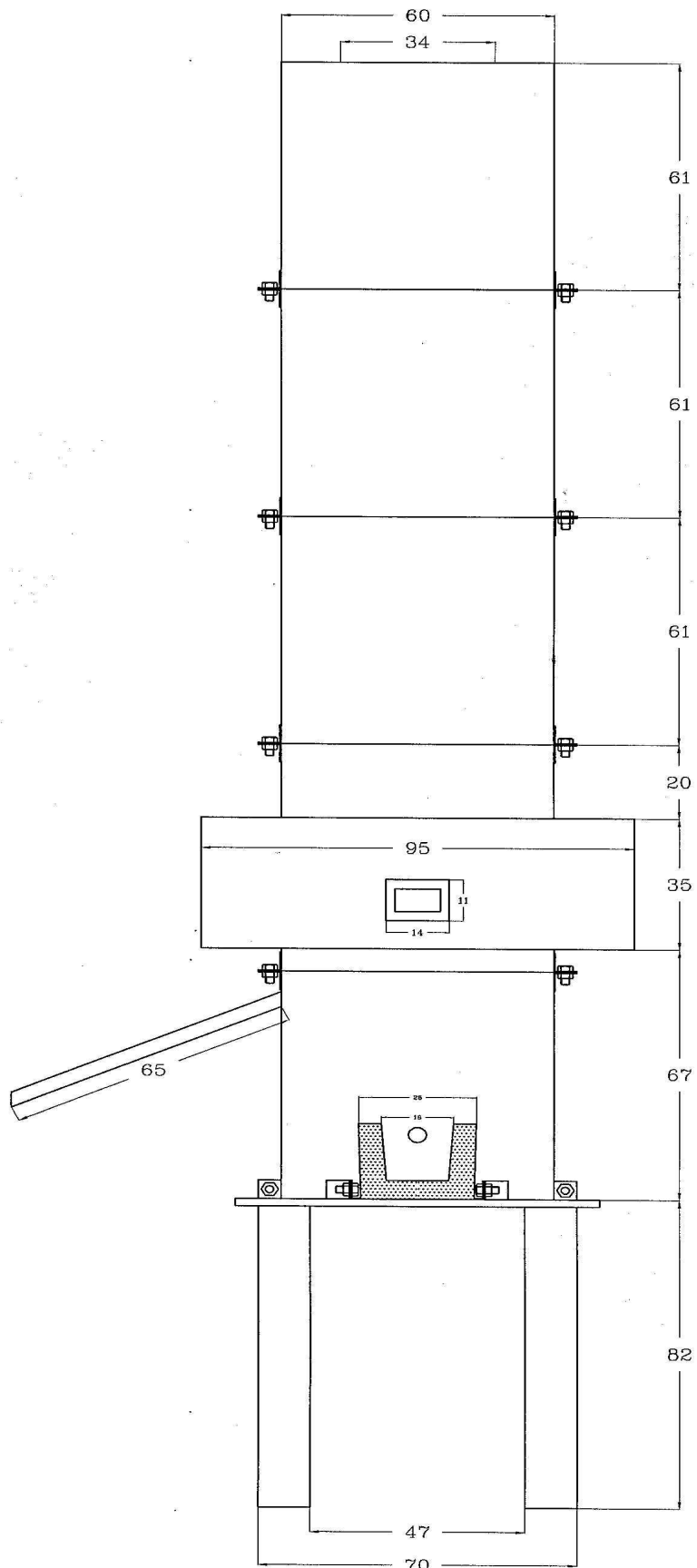


Fig. 7.- Dimensiones del horno



## 7.6. SELECCION DEL DIAMETRO INTERIOR

El diámetro del horno depende de la cantidad del hierro necesario para cumplir la demanda diaria del taller y la duración de la hornada en horas, por lo tanto para una producción aproximada de 700 Kg./h, el diámetro interior de 340 mm, es suficiente.

A partir del diámetro del cubilote se pueden obtener la representación gráfica de su operación, se realiza mediante el desarrollo de cartas que relacionan la temperatura del metal, régimen de fusión, régimen de soplado y relaciones hierro / combustible. Para el desarrollo de estas cartas fueron necesarias muchas investigaciones y experimentaciones con hornos de diferente diámetro.

Es importante observar que los datos obtenidos en estas graficas representan operaciones de cubilote después de haberse llegado al equilibrio de fusión un tiempo después de comenzar la hornada, y al momento en el que se suspendió la carga. Si la altura de la cama es incorrecta para las condiciones de operación, el equilibrio en la fusión no puede alcanzarse durante algún tiempo después de que se ha comenzado la hornada, y las graficas no se aplicarán a este periodo.

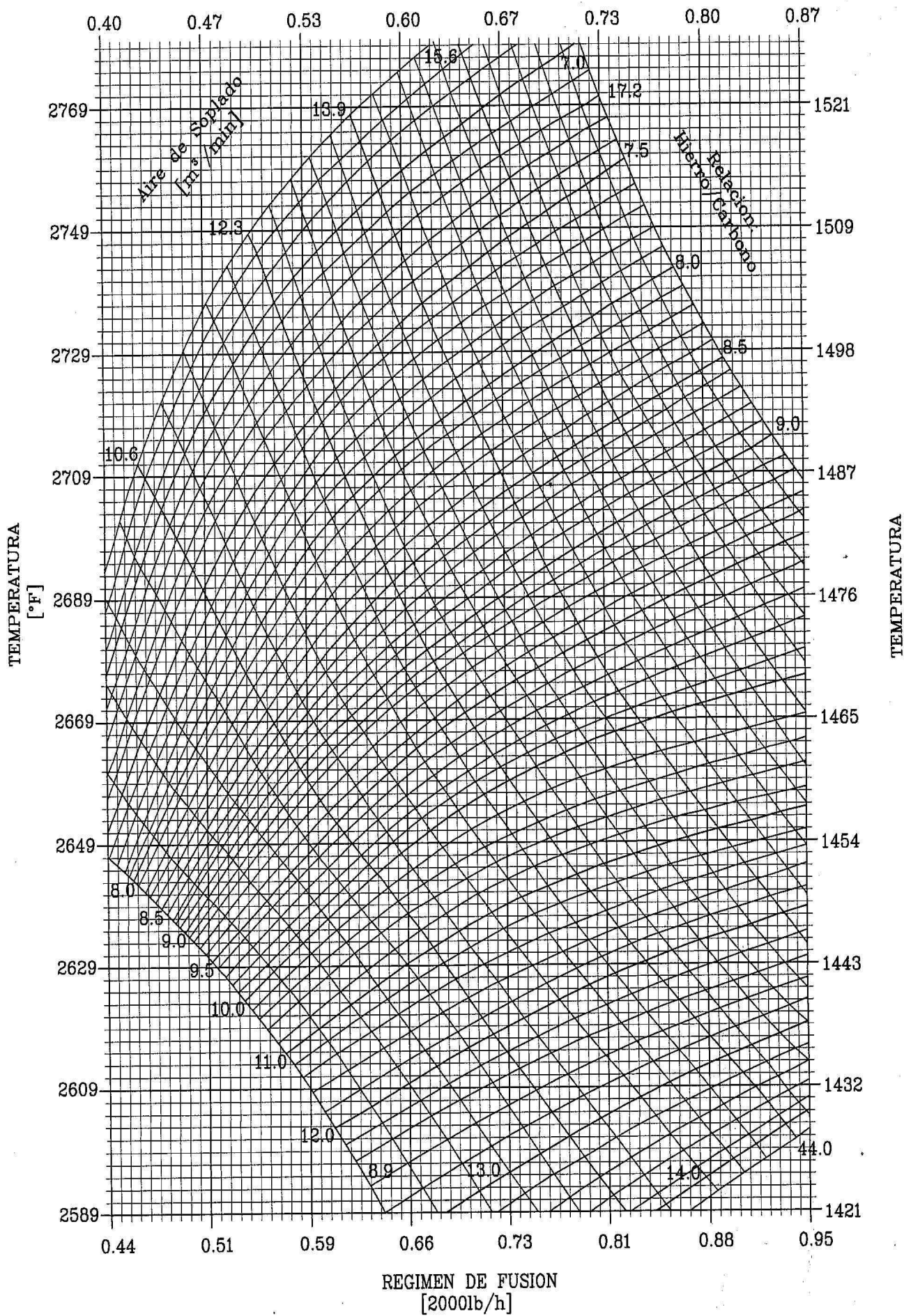
Se debe tomar en cuenta que el volumen de aire está dado en metros cúbicos por minuto medidos bajo condiciones Standard, es decir 0°C y una presión de 760 mm de Hg. Y en la práctica obviamente estas condiciones no son las mismas, por lo tanto es necesario hacer una conversión del volumen para estas condiciones Standard.

Estos ajustes pueden hacerse multiplicando por los factores apropiados. Algunos de estos se muestran a continuación (Ref. 10):

Tabla 3.- Factores de conversión a las condiciones Standard (0°C y 760 mm de columna de mercurio) partiendo de las condiciones de soplado reales.

<b>Temp. (°C)</b>	<b>Factor</b>	<b>Presión atm (mm Hg)</b>	<b>Factor</b>
-15	1,058	735	0,9675
-10	1,0387	740	0,9740
-5	1,0193	745	0,9805
0	1,0000	750	0,9870
5	0,9825	755	0,9935
10	0,9650	760	1,0000
15	0,9475	765	1,0065
20	0,9300	770	1,0129
25	0,9125		
30	0,8992		
35	0,8860		
40	0,8825		

REGIMEN DE FUSION  
[T/h]



El aire que pasa por el ducto de entrada no es el que realmente pasa a través del cubilote, ya que existen fugas, y se ha determinado que estas pueden ser hasta de un 15%.

Para realizar la grafica de la operación del cubilote de 340 mm de diámetro, se toma en cuenta una perdida del 10% de aire, la temperatura del aire soplado es de 15° C, con una presión de 560 mmMg (ubicación San Antonio de Pichincha).

El volumen de aire es de 15 m<sup>3</sup>, el cuál se debe multiplicar por el factor 0,9475 para la corrección por temperatura y este resultado, a su vez multiplicado por 0,741 (interpolado), para la corrección por presión. De estas multiplicaciones se obtiene un resultado aproximado de 11 m<sup>3</sup> por minuto que será la cantidad de aire que pasa por el punto de medición. Si se toma en cuenta una perdida de aire del 10% solamente entrará al cubilote 10 m<sup>3</sup>/min.

La perdida del aire no puede ser estimada con exactitud, en mucho mejor no emplear el volumen de aire como una de las variables independientes al usar las graficas. De las cuatro variables solo es necesario conocer dos para fijar las otras dos. Si un cubilote ha sido operado durante una hora, la relación activa hierro carbono será idéntica a la relación a las cargas añadidas (relación 7.1) y por lo tanto, conocida con suficiente precisión. La temperatura también puede ser medida con bastante precisión con un pirómetro óptico (1482° C).

Dirigiéndonos a la grafica encontramos que la línea de relación hierro – carbono 7.1 interseca a la línea de la temperatura de 1482° C en un punto correspondiente a 10.6 m<sup>3</sup>/min y un régimen de fusión de 0.44 toneladas métricas por hora, aproximadamente.

## **7.7. ESTRUCTURA DEL LADRILLO**

El tipo de ladrillo que se uso en el horno, se determino según las normas ICONTEC-773, ASTM C-27 que recomienda el ladrillo Universal 33 (U-33), cuya marca es (ERECOS). Estos ladrillos silicoaluminosos se fabrican a partir de arcillas seleccionadas, constituidas esencialmente por silicoaluminatos hidratados con pequeñas cantidades de otros óxidos.

Los ladrillos silicoaluminosos prensados, clasificados como super refractarios (Super Duty), contienen 42,5% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, con una densidad de 2,13 – 2,23 gr/cm<sup>3</sup>, con una temperatura máxima de servicio de 1763<sup>0</sup>C. Sus características principales son: baja contracción, buena resistencia mecánica, resistencia al choque térmico y al ataque moderado de escorias y agentes químicos.

Por todas sus propiedades este ladrillo es ideal para el revestimiento del horno, ya que está diseñado para aplicaciones con altas temperaturas y requerimientos mecánicos agresivos. Las dimensiones del refractario son las siguientes:



## Mortero refractario

Los morteros son utilizados para pegar ladrillos entre si y rellenar las juntas entre ellos y están constituidos por una mezcla de ácidos refractarios molidos, de arcillas plásticas, aditivos y ligantes especiales.

Un mortero refractario, además de proporcionar estabilidad a la mampostería, debe prevenir la penetración y ser resistente al ataque de escorias, líquidos o gases corrosivos. El mortero refractario se debe seleccionar tan cuidadosamente como el ladrillo con el cual va a ser usado y debe ser compatible con la composición química del ladrillo. Según el tipo de fraguado y su presentación, los morteros se clasifican en:

- Secos de fraguado térmico
- Húmedos de fraguado al aire
- Húmedos de liga mecánica

Para determinar el tipo de mortero se utilizó la clasificación ICONTEC-765 y 851, que recomienda el mortero SUPER-AEROFRAJ húmedo de fraguado al aire con 43 % de  $Al_2O_3$  y con una temperatura de  $1724^{\circ}C$ . Ideal para la unión del ladrillo antes mencionado y con características necesarias para el tipo de utilización que se dará.

## 7.8. MATERIALES UTILIZADOS

- Tres planchas (tool negro) de 1220x2440x3mm, utilizada en las etapas y la caja de vientos.
- Plancha de acero de 800x800x19mm, base del horno.
- Tubo cilíndrico de 380x12cm, soportes o patas.
- Tubo redondo de 160x17cm, ducto de aire.
- Tubo redondo de 65x4cm, escoriador.
- Tubo redondo de 50x6cm, toberas.
- Angulo 2 7/8x2x50cm, sujetadores de las etapas.
- Angulo 2x3/16x150cm, mirillas.
- Pernos de 12x1.50x30, rodela de presión de 1/2 y tuercas de 12x1.50, treinta de c/u para la sujeción del horno.
- Cuatro bridas, dos empaques para la unión del conducto de aire con el soplador.

- ¼ de galón de pintura antioxidante para el interior de la caja de vientos.
- Un galón de pintura gris para el horno.
- Un galón de tiñer.
- Un eje de 2x40cm y 8 platinas para la sujeción de la tapa.
- Cuatro vidrios de 9x13cm, mirillas
- Empaques, silicón y 36 pernos M5x12plg para sujetar el vidrio de las mirillas.
- Cuatro bisagras de 1/2x1½, de una acción, mirillas.
- 180 ladrillos refractarios para el revestimiento del horno.
- ½ quintal de mortero de unión.

## **7.9. PASOS DE LA CONSTRUCCION DEL HORNO**

- 1) Cortar la plancha de 3mm para la coraza, la caja de vientos y el canal de sangrado.
- 2) Barolar las cinco etapas y la caja de vientos.
- 3) Soldar cada una de las etapas y la caja de vientos.
- 4) Trazar, cortar la base y la tapa de la caja de vientos.
- 5) Trazar, cortar y perforar el ángulo para los sujetadores de las etapas.
- 6) Alinear correctamente todas las etapas para determinar el lugar exacto donde ubicar los sujetadores.
- 7) Soldar los sujetadores a cada una de las etapas.
- 8) Marcar y perforar los orificios para la ubicación de las toberas en la segunda etapa.
- 9) Cortar el tubo para las cuatro toberas.
- 10) Soldar las toberas en cada orificio.
- 11) Pintar las partes de la caja de vientos que van a ir en el interior.
- 12) Soldar las partes de la caja de vientos a la etapa dos.
- 13) Cortar la tapa inferior en la placa base.
- 14) Cortar el tubo para las cuatro patas o soportes.
- 15) Soldar las cuatro patas a la placa base.
- 16) Soldar los sujetadores de la etapa uno con la placa base.
- 17) Corte y perforación de piezas para la sujeción de la tapa en la placa base.
- 18) Soldar las piezas y ensamblar la tapa en la parte inferior de la base.
- 19) Realizar perforaciones rectangulares en la caja de vientos para las cuatro mirillas.
- 20) Trazar y cortar el ángulo para las mirillas.
- 21) Soldar los ángulos en forma de un marco.
- 22) Soldar las bisagras, tanto a las mirillas como a la caja de vientos.
- 23) Cortar los empaques y pegarlos con silicón para sujetar el vidrio alrededor de las mirillas.
- 24) Colocación de los empaques alrededor de los orificios designados para las mirillas, en la caja de vientos.
- 25) Perforaciones alrededor de los orificios de las mirillas, en la caja de vientos para una mejor sujeción de los empaques.
- 26) Ubicación de los pernos en los agujeros para los empaques de las mirillas.
- 27) Realizar el corte de la compuerta de encendido con dimensiones.
- 28) Ubicar y realizar los orificios de sangrado y escoriado.

- 29) Limpiar y preparar todas las partes del horno para pintar.
- 30) Pintura total del horno.
- 31) Preparación de la cimentación del horno.
- 32) Ubicación de la base del horno
- 33) Instalación de la primera etapa sobre la placa base, mediante la sujeción con pernos.
- 34) Preparación del cemento refractario y el ladrillo
- 35) Colocación del refractario al interior de la etapa uno.
- 36) Ensamblaje de la segunda etapa y colocación del refractario.
- 37) Igual procedimiento para las etapas restantes.
- 38) Cortar el tubo para el ducto de aire, y soldar las bridas a la distancia adecuada.
- 39) Cortar el orificio para la ubicación del ducto de aire en la caja de vientos.
- 40) Soldar el tubo a la caja de vientos.
- 41) Soldar la brida al soplador.
- 42) Unir el ducto de aire al soplador, mediante el empaque y los pernos.
- 43) Pintar el ducto de aire y la caja de vientos.

## **CONCLUSIONES**

- Mediante la construcción del horno cubilote para la empresa Fierroval 4G-Mecánica se pudieron obtener piezas de diferentes características y tamaños para diversos usos y aplicación, tales como: pesas para gimnasio, parrilla, tapas medianas para sifones, instrumentos que el taller necesitaba como pesos y herramientas, etc.
- El proceso de fundición se realizó a satisfacción porque los elementos y herramientas implementados fueron los suficientes para obtener una operación exitosa.
- El funcionamiento de el horno fue el esperado, suficiente aire insuflado, óptima combustión de las cargas, hierro líquido de excelente fluidez y buena resistencia del refractario.
- El hierro colado permitió obtener piezas con detalles específicos y con la composición adecuada, a un precio competitivo en el mercado.

## **RECOMENDACIONES**

- Los materiales utilizados en la construcción del horno deben ser los adecuados para evitar inconvenientes en el momento de su operación.
- En la construcción y funcionamiento del el horno se debe emplear los conocimientos de las personas especialistas en el tema, ya que la experimentación es una base fundamental en este proceso.
- Los distintos elementos que conforman el horno de cubilote, deben tener una ubicación exacta, tanto para el óptimo desarrollo de la operación como para la adecuada distribución del espacio disponible del taller.
- Para un buen funcionamiento del horno es necesario que la selección de las cargas se la realice de una forma muy detalla, para obtener un hierro de calidad.
- Los operadores del horno siempre deben tener las protecciones adecuadas para evitar cualquier accidente.

## BIBLIOGRAFIA

- American Foundry men's Society.(1985).*El Horno de Cubilote y su Operación*. Editorial Continental,S.A.
- CAPELLO, Edoardo.(1995).*Tecnología de fundición*. Editorial Cultural S.A. Sao Paulo.
- F.R. MORRAL, E. JIMENO, P. MOLERA.(1982).*Metalurgia General*. Editorial Reverté, S.A. España.
- Barreiro, Apraiz.(1978).*Fabricación de hierro, aceros y fundiciones*. Editorial URMO, S.A. Bilbao.
- Flimm, Joseph. (1979). *Fabricaciones metálicas sin arranque de viruta*. Editorial URMO, S.A. Bilbao.
- RAYMOND A. HIGGINS.(1984).Ingeniería Metalúrgica. Editorial Continental, S.A. México.
- American Foundry men's Society.(1980).*Cupola Handbook*. Printed in the United States of America.
- NASH, William A. (1982).Teoría y problemas de resistencia de materiales. Editorial Mc Graw Hill, S.A. México.
  
- [http://www.Fycomex.com/Hoja%20tecnica.archivos/hornocubilote/hornocubilote &.htm](http://www.Fycomex.com/Hoja%20tecnica.archivos/hornocubilote/hornocubilote%20&.htm)
- [http:// www.uco.es/dptos/quimica-fisica/termodinamica/practicas/ventilador.htm](http://www.uco.es/dptos/quimica-fisica/termodinamica/practicas/ventilador.htm)
- [http:// www.members.tripod.com/Arturobda/silice.htm](http://www.members.tripod.com/Arturobda/silice.htm)
- [http:// www.uclm.es/users/higuera/yymm/Arcillas.htm](http://www.uclm.es/users/higuera/yymm/Arcillas.htm)
- [http:// www.geocities.com/usminindustrial/fundiciones.htm](http://www.geocities.com/usminindustrial/fundiciones.htm)
- [http://www.utp.edu.co/public17/hornofusión.htm.](http://www.utp.edu.co/public17/hornofusion.htm)
- [http://www.gravafilt.com.ar/analisis.htm.](http://www.gravafilt.com.ar/analisis.htm)
- <http://www.moderncasting.com/spanish/arenaverde.pdf>
- [http://www.es/users/higuera/yymm/Arcillas.htm.](http://www.es/users/higuera/yymm/Arcillas.htm)
- [http://www.aprendizaje.com.mx/curso/proceso1/temario1\\_III.htm/#trece.](http://www.aprendizaje.com.mx/curso/proceso1/temario1_III.htm/#trece)
- [http://www.arqhys.com/articulos/arenas-tipos.html.](http://www.arqhys.com/articulos/arenas-tipos.html)
- <http://www.monografias.com/trabajos10/restat/restat.shtml>
- [http:// www.roble.pntic.mec.es/Ivente0 Enero 2000.htm.](http://www.roble.pntic.mec.es/Ivente0 Enero 2000.htm)
- <http://www.mf-ct.upc.es/Salva/Ventiladores.htm>
- <http://www.ciarrapico.com.ar/VentCentrFR/Frventiladores.htm>
- <http://www.infoacero.cl/acero/arrabio.htm>
  
- Tesis: SOSA, José.(1981).*Diseño de un cubilote de 700 m*. Ingeniería Mecánica. Escuela Politécnica Nacional.
- Tesis: ALAVARRO J.(1990).*Practicas de fundición*. Ingeniería Mecánica. Escuela Politécnica Nacional.
- Tesis: NAVARRO A.(1987).*Fundición de hierro*. Ingeniería Mecánica. Escuela Politécnica Nacional.
- Tesis: LATORRE, José.(1975). *Diseño de un Cubilote*. Ingeniería Mecánica. Escuela Politécnica Nacional.
- Tesis: ESPINOZA, Roque.(1986). *Estudio de arena sílice para fundición*. Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional.



- Tesis: YANDUN, Henry.(1979). *Estudio de las Propiedades de arenas de moldeo*. Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional.
- Tesis: MANTILLA, Wilson. (1998). *Tecnología de Fundición*. Ingeniería Mecánica. Escuela Politécnica Nacional.
- Tesis: OVIEDO, Fausto. (1981). *Diseño y Construcción de un horno para tratamientos en baño de sales*. Ingeniería Mecánica. Escuela Politécnica Nacional.
- Documentación : Ing. Carlos Caiza.
- Documentación : Ing. Mario Sigcho.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ref. 1.- Tesis: Diseño de un Cubilote. Págs. 33,34.
- Ref. 2.- Teoría y problemas de resistencia de materiales. Pág. 214.
- Ref. 3.- Teoría y problemas de resistencia de materiales. Pág. 215.
- Ref. 4.- El Horno de Cubilote y su Operación. Pág. 309.
- Ref. 5.- Documentación: Ing. Carlos Caiza.
- Ref. 6.- El Horno de Cubilote y su Operación. Pág. 196
- Ref. 7.- El Horno de Cubilote y su Operación. Págs. 163,164.
- Ref. 8.- Cupola Handbook. Págs. 26,27.
- Ref. 9.- Tecnología de fundición. Pág. 206.
- Ref. 10.- El Horno de Cubilote y su Operación. Pág. 798

## ANEXOS



Fotografías 1- 2. (Soldadura y alineamiento de las etapas)



Fotografías 3- 4. (Toberas e interior de la caja de vientos)



Fotografía 5. (Determinación de la ubicación de los elementos)



Fotografías 6-7. (Unión de los soportes a la placa base)



Fotografía 8. (Alineación de la etapa 1 a la base para la ubicación de los sujetadores)



Fotografías 9-10. (Colocación del refractario en la etapa 1 y 2)





Fotografías 11-12. (Termino de la colocación del ladrillo y secamiento del horno)



Fotografías 13-14. (Preparación de la arena y realización de los moldes)



Fotografías 15-16. (Ejemplos de algunos modelos)



Fotografías 17-18. (Cerramiento de las cajas)



Fotografías 19. (Ubicación de los moldes para el colado)





Fotografías 20 - 21. (Sangrado y recolección del hierro fundido)



Fotografías 22. (Colación del metal en los moldes)



Fotografías 23. (Salida de la escoria)