

Estudio y Control Técnico de un Cubilote de Fundición



TESIS

QUE PARA SU EXAMEN PROFESIONAL
DE QUIMICO
PRESENTA EL ALUMNO
ALFONSO LARA LEOS

REVISADO POR EL COMITÉ
SABER LARA LEOS QUIMICA



3

MEXICO, D. F.
1935

1900



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A MIS QUERIDOS PADRES.

**Con todo respeto, al C. Rector
de la Universidad Nacional
Autónoma, Químico
Dn. ROBERTO MEDELLÍN.**

**A mi querido maestro, Químico
Dn. RAFAEL ILLESCAS F.,
Director de la Facultad de Ciencias
e Industrias Químicas.**

**A mi estimado maestro, Químico
Dn. TEOFILO GARCIA SANCHO.**

Al C. Director de la Fundición Nacional de Artillería, It. Coronel Enrique Benitez Vargas, con todo agradecimiento por haberme permitido, desinteresada y bondadosamente, desarrollar la presente dentro de los Talleres y el Laboratorio del citado Establecimiento

A mi estimado maestro y amigo Químico y Metalurgista, Dn. Fernando González V. por los atinados consejos y la orientación recibida, que agradezco sinceramente

A mis Maestros

A mis Compañeros

INTRODUCCION

El cubilote en la Industria

Huelga casi el decir que las industrias que producen el hierro y el acero son la base de todas las demás y las que determinan por tanto la independencia económica de un país. No hay industria moderna de la índole que sea que no utilice máquinas, y decir máquinas, es decir hierro y acero.

Por lo que toca al hierro colado o fundición en particular, a pesar de los grandísimos adelantos logrados en los tiempos recientes en materia de aceros, sigue teniendo la importancia primordial en la construcción de maquinaria, utensilios diversos, etc., que lo ha hecho materia indispensable para la industria.

Siendo en comparación con el acero, materia barata, fácil de producirse, de vaciarse y de trabajarse, no ha podido aún ser sustituida por éste sino en casos especiales.

Los adelantos logrados últimamente en su fabricación, el mejoramiento de sus características y los conocimientos de su estructura, son razones de que su uso no haya decaído sino más bien extendido y afirmado.

El hierro colado de primera fusión o sea el colado directamente del Alto Horno no se usa sino en casos muy especiales para el vaciado de piezas. Este material se lingotea en general para ser refundido y obtener así el material ya utilizable en vaciados. De los hornos utilizados para la refusión del hierro de primera fundición, es el cubilote el más extendido por razón de la sencillez de su construcción, bajo costo de instalación y mantenimiento, el alto rendimiento térmico (hasta el 50% en condiciones favorables) y su fácil manejo en la práctica. Así que las numerosas tentativas por sustituirlo por el horno de reverbero, el horno eléctrico, etc., no han logrado hasta el día hacerle perder su importancia y popularidad.

Sin embargo, tan fácil, cómodo y tan eficiente es este horno, tan poco control técnico-metalúrgico se lleva de él en la mayor parte de los talleres corrientes de fundición, que hace que sólo en contados ca-

esos se logren los mejores resultados en cuestión de calidad del material, rendimiento y economía.

Así se ha constituido en un horno doméstico que cualquiera instala y usa sin el menor conocimiento técnico y sin llevar de él el menor control. Solo la gran amplitud de marcha y el amplio margen que tolera en las condiciones de trabajo el cubilote, pueden o permiten que en tales casos dichas personas obtengan de esas improvisaciones, hierros más o menos utilizables para vaciar piezas diversas.

Pero cuando se trata de convertir el cubilote en un buen aparato metalúrgico capaz de producir buen hierro en las condiciones deseadas y al costo más bajo posible, es cuando se hace indispensable un conocimiento exacto de los procesos que en él se realizan y el establecimiento de un concienzudo y sólido control químico-metalúrgico.

Este control no es tan sencillo como a primera vista pudiera parecer sino bien complicado y requiere sobre todo vastos conocimientos de fisico-química y de metalurgia aparte de algunos conocimientos de ingeniería.

El presente estudio constituye uno de esta naturaleza y como todos los de su índole, por coordinar las consideraciones teóricas con las mediciones y conclusiones prácticas viene a ser de utilidad tanto al técnico como al práctico.

DESARROLLO DE LA TESIS

La presente, si bien a pesar mío no es comparable con otras de mis compañeros que se han escrito sobre asuntos de química pura, de química industrial o sobre asuntos técnicos similares, es sin embargo el resultado de mis esfuerzos encaminados a desarrollar científica y concienzudamente un tema que sirviera al objeto perseguido y en el cual puse toda mi voluntad y todos mis conocimientos.

Si bien es cierto que considero que los frutos de tales esfuerzos no son lo satisfactorio que debieran, no por eso dejo de reconocer por otro lado, que bastante se aprende en el estudio de la carrera y que los conocimientos adquiridos pueden aplicarse en cualquier momento al estudio de un proceso físico-químico, para obtener conclusiones de las cuales se pueda sacar algún provecho. Asimismo, si la presente no contiene novedades dentro del campo científico de la experimentación, no aporta datos valiosos a determinada industria, ni sirve de base para crear alguna otra, da en cambio idea, (como se la dará a cualquier otro que tenga que controlar un proceso industrial para hacerlo económicamente mercantizable) de lo difícil que es, cuando se lleva a cabo como se debe, un estudio como el presente.

He juzgado conveniente desarrollar mi tesis según el siguiente programa:

- I.—Cubilote.—Breve reseña histórica.
- II.—Descripción, construcción y elementos accesorios.
- III.—Cargas.
- IV.—Encendido, puesta en marcha y apagado.
- V.—Dimensiones de los cubilotes y datos prácticos que se aplican para obtener la mayor eficiencia del proceso de fusión.
- VI.—Proceso químico de la fusión en el cubilote.
- VII.—Balance de materiales.
- VIII.—Balance térmico.
- IX.—Estudio metalográfico del material obtenido y pruebas físicas del mismo.
- X.—Conclusiones.

CUBILOTE.—BREVE RESEÑA HISTORICA

El diccionario de la Real Academia Española trae la siguiente definición: horno cilíndrico, de chapa de hierro, revestido interiormente con ladrillos refractarios, en el que se refunde el hierro colado para echarlo en los moldes.

En nuestro medio usual, la palabra "cubilote" es completamente desconocida y para designar esta clase de hornos, se aplica la palabra "cúpula", que por razón de antigüedad es la única que verdaderamente predomina, pero en el lenguaje de los fundidores ni tan siquiera se dice: "hornos de cúpula", sino simplemente "cúpula"; Osann, en su tratado de fundición del fierro, nos dice que esta palabra tuvo su origen en una deformación de lenguaje y en una designación errónea de hornos de "copela" (palabra que luego se transformó en cúpula) para los hornos de "cuba". Asimismo él califica de errónea esa designación y en todo caso es justo y correcto decir ya sea: "hornos de cuba para fundería" o "cubilotes".

De la edad de las piezas de fundición más antiguas, de datos históricos, de grabados, etc. se le asigna al precursor del cubilote, como a la aparición del fierro colado, el año de más o menos 1550.

Después por 1630 se menciona el horno que usaban los fundidores de bronce y los fundidores errantes, que consistía en un caldero de hierro, revestido interiormente de arcilla, con una cuba de mañopostería y con introducción de aire por medio de fuelles.

En la bibliografía inglesa, el cubilote se cita por primera vez en el año de 1764. En el año de 1860, apareció el cubilote Ireland, cuya particularidad consistía en el uso de toberas de boca grande, por donde se inyectaba aire a baja presión. El perfil dado a la zona de fusión era semejante al del alto horno, tipo que no ha subsistido por lo costoso y laborioso del sostenimiento del tabique refractario.

El cubilote Krigar apareció en el año de 1860 y su novedad estaba en el empleo del anticrisol; por otra parte seguía el pensamiento de Ireland en cuanto al empleo de toberas.

Posteriormente se han hecho un sinnúmero de modificaciones tanto en la forma como en la estructura del cubilote, pero que no men-

ciono por carecer de importancia debido a que no han subsistido al través de los años y de la evolución técnica, debido a diversas causas.

DESCRIPCION, CONSTRUCCION Y ELEMENTOS ACCESORIOS

Y ahora paso a describir el cubilote tal como es y se usa en nuestras fundiciones de hierro colado.

El cubilote consta esencialmente de un cilindro de lámina de hierro de $\frac{1}{4}$ ó $\frac{1}{2}$ pulgada de espesor, constituido por varias secciones que se unen entre sí mediante un dobléz de las mismas láminas, que vienen a formar lo que comúnmente se llama ceja y que luego es remachada; esta ceja queda hacia el interior del horno y sirve después para sostener el revestimiento de tabiques refractarios. Estas secciones del cilindro son amarradas por fuera por medio de cinchos del mismo material, que pueden apretarse o aflojarse por medio de tornillo y tuercas en caso de que las expansiones y contracciones producidas así lo necesiten. Este cilindro descansa sobre un anillo de fundición, que a su vez es sostenido por cuatro patas de hierro sólidas y resistentes, de una altura media de un metro. Sobre este anillo se instala la puerta del fondo del horno, constituida por dos placas semicirculares que giran sobre tres goznes, de tal manera que al ir a cargarse el cubilote, se levantan y se detienen por medio de un barrote de hierro.

No todo el horno es cilíndrico, sino solamente hasta el piso de cargas donde está la abertura para alimentarlo; de aquí hacia arriba sufre primero un angostamiento corto y luego sigue el cañón de la chimenea.

A una altura conveniente del piso del crisol, se coloca la caja de viento, que es un depósito anular construido encima del cilindro, de un ancho y alto convenientes y que es el que recibe por una o dos aberturas circulares o elípticas el aire del ventilador. Aquí mismo están situadas las mirillas, pequeñas aberturas cubiertas con mica y que permiten al fundidor seguir el proceso del horno. En esta caja de viento tenemos las toberas, que son las aberturas que dan paso al aire hacia el interior del horno; la caja de viento no viene siendo otra cosa que una caja de distribución.

Luego tenemos debajo de la caja de viento, el orificio por donde se extrae el hierro fundido, "piguera", y opuesto a este orificio y a un nivel superior el de la escoria o "rigola".

El cubilote se reviste interiormente con tabiques refractarios desde un poco arriba de la puerta de carga hasta el piso del crisol. El

espesor de esta pared varia con los diversos hornos pero nunca pasa de 45 cms. y generalmente es de 15 a 25 cms. Entre la lámina de fierro y el tabique refractario se deja un espesor como de 2.5 cms. que se rellena con arena silícea o barro refractario.

El revestimiento en los cubilotes se repara después de cada operación con arcilla refractaria. Al ir a trabajar con el horno, se levantan las puertas inferiores y se sostienen como ya se dijo; luego por arriba se carga arena silícea o tierra de moldeo y se construye el piso del horno de un espesor de 15 a 20 cms. del lado de la "rigola", que desciende formando un declive hacia la "piquera" de un espesor de 10 a 15 cms.

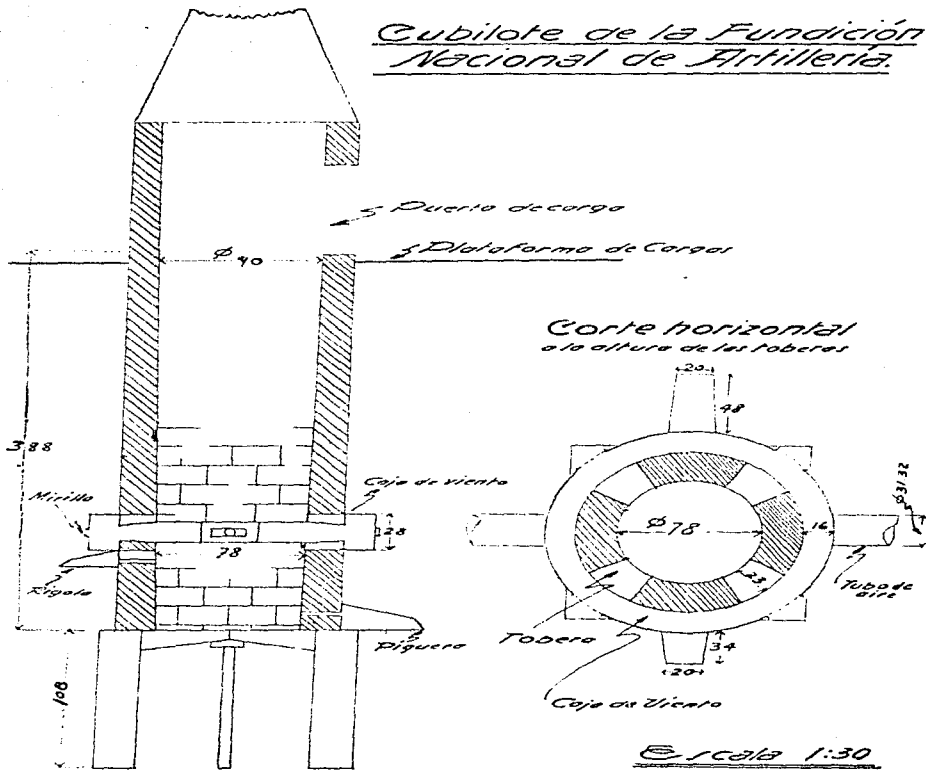
Como elementos accesorios del cubilote se pueden considerar el montacargas, grúa o algún otro dispositivo que sirva para elevar el material que se va a cargar pero principalmente está desde luego el ventilador o la clase de máquina soplante de que se disponga.

Las máquinas soplantes se dividen en dos categorías: las de presión constante y las de volumen constante. En las de la primera está el conocido ventilador centrífugo de aspas y en las de la segunda muchos tipos de máquinas entre las cuales se puede considerar como tipo el ventilador "Root" de aspas de madera en forma de un 8. Aparte de éstos está teniendo mucha aceptación el turbó-compresor, que también entra en el tipo de ventiladores de volumen constante y que es una turbina de vapor acoplada directamente con un ventilador centrífugo. Estas turbinas alcanzan enormes velocidades, de 5,000 y 10,000 r. p. m.

La diferencia entre estos dos tipos de máquinas soplantes estriba en lo siguiente: un ventilador de aspas, centrífugo, sin cesar de dar revoluciones, deja en ciertos casos de aspirar aire; estos casos se presentan durante la marcha del cubilote; sea por que la carga está muy compacta o por obstrucción de las toberas; y en el caso de los ventiladores de volumen constante esto no sucede, por ej. en el caso de un ventilador "Root" en donde la cantidad de aire que inyecta siempre es constante, pero en el caso de obstrucción de toberas o algún otro lo único que sucede es que se eleva la presión del aire dentro del tubo de conducción.

Indudablemente estos ventiladores son los más indicados para los cubilotes, pero aparte de esto se deben buscar aquellos tipos que además de ser de volumen constante, permiten regular la cantidad de aire que inyectan, a voluntad, según lo requiera la marcha del horno.

Cubilote de la Fundición Nacional de Artillería.



CARGAS

Combustible.—El cok es el único combustible utilizado en la marcha de esta clase de hornos; desde luego se debe buscar una calidad que vaya de acuerdo con el precio, que si no es el más bajo sí corresponda a una clase de cok que permita la obtención de un hierro colado de buena calidad.

Lo que importa al comprar el cok, es: cantidad de cenizas, % de azufre y % de humedad. Desde luego de estos tres datos lo más interesante es el % de azufre. El azufre por todos motivos es indeseable en el hierro ya que rebaja gran número de sus propiedades haciéndolo desmerecer mucho.

El cok se admite hasta con 1% de azufre y arriba de esta cantidad se considera que es muy perjudicial su uso. En cuanto a la humedad, se admite hasta un 4% pero la importancia de este dato está únicamente en la utilidad que le presta al comprador. Y en cuanto a las cenizas, se infiere inmediatamente que el carbón fijo que es lo que importa en lo que se refiere al poder calorífico del cok, varía en razón inversa de la cantidad de cenizas; por lo tanto se debe evitar el usar coks altos en cenizas por la gran cantidad de escorias a que dan lugar y además por que el % de azufre que entra en la carga es mayor que en el caso de un cok con bajo % de cenizas.

Cuando empecé mis estudios en la Fundición Nacional o sea por agosto de 1932 el cok que se usaba era de procedencia desconocida por lo que lo designaré como cok "A" para distinguirlo del cok "Rosita" que más tarde usaron.

El cok "A" dió el siguiente análisis:

Humedad a 105°C.	0.55 %
Materia Volátil Combustible	2.81 %
Carbón fijo	76.97 %
Cenizas	17.93 %
Azufre	1.74 %

Análisis del cok de "Rosita".

Humedad a 105°C.	0.46 %
Materia Volátil Combustible	4.60 %
Carbón fijo	77.08 %
Cenizas	16.84 %
Azufre	1.02 %

Según datos prácticos obtenidos de cubilotes en funcionamiento se ha llegado a fijar las siguientes cantidades, como las más correctas en cuanto al uso del cok se refiere:

Cok de calentamiento.—Debe ser más o menos un 9 ó 10% del peso de hierro fundido por hora y el cok de fusión no debe exceder del 10% del peso de una carga de hierro.

En mi caso, se cargaba de cama de cok 250 Kgs. y como la producción horaria del horno era de 1500 Kgs. la cantidad que se debía de cargar es de 150 Kgs.

En cuanto al cok de fusión, se cargaba para cada porción de 500 Kgs. de hierro, 70 Kgs. de cok o sea un 14%, debiendo ser según el dato anterior de 50 Kgs.

Caliza.—La caliza que se usa en los cubilotes debe ser pobre en sílice y alúmina; desde luego una con un 98 a 99% de carbonato de calcio es la que se debe preferir. Si es muy impura se comprende que se debe cargar más ya que se necesita escorificar las impurezas y esto trae el aumento de escorias que desde luego implica un aumento en el combustible. El magnesio en un 4 ó 5% no tiene ningún efecto sobre el proceso o sobre la calidad del hierro obtenido, pero en cantidades mayores trae como consecuencia la formación de productos bastante refractarios, escorias muy poco fluidas, causas que determinan por lo tanto un gasto mayor de combustible, un gasto mayor de fundentes por tratar de mejorar la escoria y el inconveniente de que el magnesio no es un desulfurante como lo es el calcio. He aquí el análisis de la caliza usada:

Humedad a 120°C.	0.03 %
Insoluble	0.11 %
Cal, CaO	32.25 %
Magnesia, MgO	20.06 %
Alúmina más óxido férrico	1.28 %

Como se ve por el anterior análisis, la composición de la caliza se aproxima bastante al de la dolomita; de aquí se deduce como consecuencia lógica que esta clase de material no está indicado para fundente por su alto porcentaje de magnesio. Más bien, calcinado y pulverizado, podría dedicarse a la fabricación de ladrillos refractarios dolomíticos.

En efecto, la escoria que se obtiene con este fundente es muy espesa y de un elevado punto de fusión; también tiene el inconveniente de que no se separa del hierro como debiera por su alta densidad y en ciertas marchas del cubilote se obtienen escorias con multitud de gló-

bulos de fierro metálico distribuidos en su masa, como tuve ocasión de observar varias veces. En una de ellas, tuve la precaución de pesar una muestra de escoria que iba a pulverizar en el mortero para su análisis y durante el curso de la operación fuí separando todas las partículas de fierro de mayor tamaño y después de pulverizada la muestra, retiré de ella la mayor cantidad de limaduras de fierro por medio de un imán y pesé todo el fierro junto. Doy a continuación el resultado de ese trabajo y el análisis de la escoria de que se trata.

La muestra pesó 307.7 gms. y el fierro metálico obtenido pesó 30.7 gms. Por lo tanto el contenido en fierro era un 10% .

Análisis de la escoria.

Insoluble	53.52 %
Oxido ferroso, FeO	5.16 %
Alúmina	21.00 %
Oxido manganeso, MnO	1.54 %
Cal, CaO	12.99 %
Magnesia, MgO	6.22 %
Azufre	0.19 %

La cantidad que se carga de caliza no se puede determinar teóricamente; hay multitud de factores que intervienen en el cálculo y los cuales no se pueden determinar con exactitud. Como siempre se carga en el cubilote lo que sobra de las piezas que se vacían, desperdicios de distintas naturalezas, los cuales llevan en sí cantidades muy variables de la tierra de los moldes, no es posible llegar a fijar la cantidad de sílice que entra por estas agencias. También tenemos todo lo que se escorifica del revestimiento del horno y que pasa a la escoria, cantidad que también es muy variable. Por eso y por otros motivos, se ha fijado un dato aproximado para la cantidad de caliza que se carga en los cubilotes y el cual ha sido derivado de las mejores prácticas. Este dato se toma igual a un 5% del peso de las cargas del fierro.

En mi caso, se cargan por cada 500 Kgs. de fierro, 25 Kgs. de caliza. En cuanto al fierro que se carga en el cubilote, hay grandes márgenes para escoger; en las fundiciones en donde hacen materiales muy diversos y en donde se compran grandes cantidades de fierro viejo, las cargas se escogen en determinada forma para que den un fierro de la composición deseada. En el caso de la Fundición Nacional el material que se carga ahí es muy homogéneo y se destina a la fabricación de tubos de albañal, cajas para moldes y piezas de maquinaria.

Doy a continuación los análisis de los materiales que se cargan en el cubilote.

Pedacería		Granada	
(Composición aproximada)			
C total..	3.01 %	C total..	3.56 %
Si..	2.48 %	Si..	2.24 %
S..	0.087%	S..	0.042%
P..	0.70 %	P..	0.664%
Mn..	0.55 %	Mn..	0.55 %
Lingote Monterrey		Ferrosilicio	
C total..	3.28 %	C total..	0.12 %
Si..	3.37 %	Si..	75.5 %
S..	0.087%	Ferromanganeso	
P..	0.80 %	C total..	5.15 %
Mn..	0.68	Mn..	60.92 %

Doy a continuación la composición de varias cargas.—Del 30 de septiembre de 1932.

Cama de cok.. 250 Kgs.

Primera carga

Pedacería delgada.. 300 Kgs.
 Granada 200 "
 Cok de fusión 70 "
 Caliza 25 "
 Ferrosilicio 3 "
 Ferromanganeso 2 "

Segunda carga

Pedacería limpia.. 200 Kgs.
 Granada 200 "
 Lingote Monterrey.. 100 "
 Cok de fusión.. 70 "
 Caliza 25 "
 Ferrosilicio.. 3 "
 Ferromanganeso.. 2 "

La 3a. carga igual a la 2a. y la 4a., 5a. y 6a. compuestas de 300 Kgs. pedacería y 200 Kgs. granada y lo demás exactamente igual.

Del 11 de octubre de 1932.

Cama de cok 250 Kgs.

Primera carga

Pedacería menuda (gota) 100 Kgs.
 Coladas (restos de las) 200 ..
 Granada 200 ..
 Cok de fusión 70 ..
 Caliza 25 ..
 Ferrosilicio 3 ..
 Ferromanganeso 2 ..

Las cargas 2a., 3a., 4a., 5a., 6a. y 7a. compuestas de.

Lingote Monterrey 100 Kgs.
 Granada 200 ..
 Pedacería 200 ..

El resto de las cargas, exactamente igual a las anteriores.
 Del 26 de octubre de 1932.

Cama de cok 240 Kgs.

Primera carga

Coladas 300 Kgs.
 Granada 200 ..
 Cok de fusión 56 ..
 Caliza 30 ..
 Ferrosilicio 3 ..
 Ferromanganeso 2 ..

Segunda, tercera y cuarta

Lingote Monterrey 100 Kgs.
 Granada 200 ..
 Pedacería de maquinaria 200 ..

El resto de estas cargas exactamente igual al resto de la 1a. carga.

Del 3 de diciembre de 1932.

Cama de cok 250 Kgs.

Primera carga

Coladas 200 Kgs.
 Granada 200 ..
 Lingote Monterrey 100 ..
 Cok de fusión 62 ..
 Caliza 25 ..

La 2a. y la 3a. iguales a la 1a. en esto. Pero en la 1a. tan sólo 1 Kg. de ferrosilicio y $\frac{1}{2}$ Kg. de ferromanganeso mientras que en las demás hasta la 5a., 2 Kgs. ferrosilicio y 1 Kg. ferromanganeso.

Cargas 4a. y 5a.

Pedacitería menuda ("gota")	100 Kgs.
Coladas	200 ..
Granada	200 ..
Cok de fusión	62 ..
Caliza	25 ..

ENCENDIDO, PUESTA EN MARCHA Y APAGADO

A continuación doy como ejemplo la marcha del cubilote del 30 de septiembre de 1932.

Se encendió a las 9.15 hrs. de la mañana con madera. Esto se verifica siempre después de que el horno ha sido reparado interiormente y el piso del crisol ha sido formado y apisonado. Se ha formado previamente también el agujero de colada junto con la canal por donde va a correr el fierro fundido. En esta canal se encienden algunos leños y se mantiene lumbré hasta que el barro se ha secado. Las ollas en que se recibe el fierro fundido han sido también reparadas y en ellas se mantiene un fuego de leña, para calentarias y que no se enfríe el fierro al ser recibido dentro de ellas. Estando así dispuesto todo, con las mirillas abiertas, se carga la leña o madera que va a calentar el cubilote. Se enciende ésta y se deja arder bastante. A las 9.30 hrs. se empezó a cargar la cama de cok. Esto se verifica añadiendo el cok en porciones proporcionadas para que todo vaya prendiendo bien y únicamente por tiro natural.

A las 10.30 hrs. se empezaron a cargar cuatro cargas de fierro y se terminaron de cargar a las 10.50 hrs.

A las 11.03 se cerraron las mirillas y se puso el aire.

Las primeras partículas de hierro fundido aparecieron en la boca de la piqueta a las 11.23 momento en el cual se tapó ésta con barro refractario. A las 11.35 se verificó la primera sangría y luego se continuó sangriando a intervalos de 15 minutos hasta la 1.15 mins. de la tarde en que se verificó la última sangría. Entonces se dejaron abiertas la piqueta y la rigola, se disminuyó bastante el aire, se cargó un poco más de cok y cuando dejó de escurrir el fierro, se abrieron las puertas inferiores del cubilote y se dejó caer el resto de la carga con escoria, hierro fundido y bastante cok incandescente que en esos momentos se apagó con agua fría. Se paró el ventilador.

Al día siguiente, ya frío el horno, se procede a su revisión y reparación. Para esto un obrero provisto de un cincel y un martillo se metió al interior del horno y empieza por derribar todas las concreciones de escorias pero sin lastimar el revestimiento y de destapar las toberas si estuvieren obstruidas por las escorias. Ya limpio el interior del horno, se procede a su reparación. Entonces un obrero provisto de utensilios de albañilería reparó todo el interior del horno con barro refractario, sustituyendo todos los ladrillos ya muy deteriorados por ladrillos nuevos. El resto del día sirve para que se seque el material y ya al día siguiente está listo el cubilote para encenderse de nuevo.

**DIMENSIONES DE LOS CUBILOTES Y DATOS PRACTICOS QUE
SE APLICAN PARA OBTENER LA MAYOR EFICIENCIA
DEL PROCESO DE FUSION**

- Empezaré por anotar las dimensiones del cubilote en estudio:		
Altura del cubilote sobre el nivel del suelo	108.5	cms.
Circunferencia exterior del cubilote	387.0	..
Altura desde el piso del horno hasta la puerta de carga	388.0	..
Ancho de la puerta de carga	40.0	..
Alto de la puerta de carga	69.0	..
De la parte inferior de la puerta de carga al 1er. angostamiento	107.0	..
Del 1er. al 2o. angostamiento	89.0	..
Del 2o. angostamiento hasta el final de la chimenea	500.00	..
Altura de la piqueta sobre el piso del horno	13.00	..
Altura de la rigola sobre el piso del horno	52.50	..
Del piso del horno a la zona de las toberas	76.00	..
Diámetro interior a la altura de las toberas	78.00	..
Diámetro interior a la altura de la puerta de carga	90.00	..
Altura de la zona de fusión	90.00	..
Diámetro de la caja de viento	28.00	..
Espesor del revestimiento a la altura de las toberas	42.00	..
Ancho de la caja de viento	16.00	..
Diámetro de los tubos de viento	21.32	..
Espesor del revestimiento a la altura de la puerta de carga	31.00	..
De la zona de las toberas a la puerta de carga	312.00	..
Número de toberas	4.00	..

Una de ellas cuadrangular y plana, con una sola abertura hacia el interior del horno y hacia el interior de la caja de viento.

Alto. 16 cms.
Ancho. 31 „

Dos de ellas formando en el interior del revestimiento una pirámide cuadrangular truncada, con la base mayor hacia el interior del horno, y terminando con la abertura menor hacia el interior de la caja de viento.

Las dimensiones exteriores son las mismas que las de la tobera ya citada pero las del orificio por donde realmente entra el aire son las siguientes:

Alto. 13 cms.
Ancho. 18 „

Por fin la 4a. y última tobera más ancha que las anteriores y aún más baja, encajonada tan sólo por dos de sus caras y siendo el orificio por donde llega el aire de la caja de viento de las siguientes dimensiones:

Ancho. 15 cms.
Alto. 9.5 „

Las dimensiones de la abertura que da hacia el interior del horno son:

Ancho. 38 cms.
Alto. 9.5 „

El ventilador usado para inyectar el aire al cubilote, es un ventilador centrífugo de aspas planas insertadas en un rotor cilíndrico que en su mayor diámetro mide 72 cms. y en su menor 28. Este rotor gira en una caja cilíndrica de lámina de fierro que tiene de ancho exterior 36 cms. y de alto 109. La aspiración se verifica por un orificio de 45 cms. de diámetro. Un motor de 15 H. P. está acoplado directamente al ventilador y da un No. de revoluciones por minuto de 1500. El rotor tiene 19 aspas de las cuales 6 son grandes y 13 son mitades de aspa. La inyección del aire cerca del ventilador se verifica por medio de un tubo cilíndrico de 21.32 cms. de diámetro. Luego la prolongación es subterránea y se divide más delante en dos ramas también cilíndricas de 21.32 cms. de diámetro. En el trayecto de la tubería al horno hay 4 codos con ángulos de 90 grados.

En vista de no disponer de aparatos con que medir el volumen de aire que inyecta el ventilador y la presión de este aire, se calculó

teóricamente a partir de una fórmula para ventiladores centrifugos que fué tomada de: "Vortrage uber mechanik", del doctor ingeniero Ludwig Hotopp, tomo 2o., página 243, a partir del No. de rpm del motor y del radio de las aspas.

$$p_2 - p_1 = K_1 \frac{v^2}{2g} \text{ como } \frac{p_1}{K_1} = 8000, \text{ queda,}$$

$$\frac{p_2 - p_1}{p_1} = \frac{1}{8000} \frac{v^2}{2g} \quad \text{de donde resulta}$$

$$p_2 = \left(1 + \frac{1}{8000} \frac{v^2}{2g}\right) p_1 \quad \text{fórmula final.}$$

p_2 = presión del ventilador.—

p_1 = presión exterior.—

K_1 = densidad del aire a p_1 .—

v = velocidad del aire.— Se obtiene de la siguiente fórmula:

$$v = \frac{\text{rpm} \times r \times 2 \text{ Pi}}{60} \text{ en mts./seg.}$$

r = radio de las aspas.—

$\text{Pi} = 3.1416$

Para un radio de aspas de 0.23 mts. se encontró sustituyendo en la fórmula de velocidad una de 36.11 mts. seg. Y sustituyendo valores en la fórmula de presión y para p_1 igual a 586 mm. de Hg. como promedio y para g en México el de 9.78 mts. por seg. por seg., para p_2 se encontró el valor de 590.88 mm. de Hg o sea una presión sobre la reinante de 0.488 cms. de Hg. La cantidad del aire se obtuvo por medio de la fórmula $Q = A \times v$ en la que Q es la cantidad de aire en mts. cúbicos por seg.. A es el área del tubo de conducción del aire expresada en mts. cuadrados y v es la velocidad del aire en mts. por segundo. Para una área del tubo de conducción de 0.03568 mts. cuadrados se obtuvo el valor de 1.288 mts. cúbicos por segundo. Esta es la cantidad que teóricamente inyecta el ventilador, a la presión reinante en México. Para acercarme más a la realidad y en virtud de que prácticamente se ha comprobado que en los ventiladores centrifugos el rendimiento máximo o la eficiencia de los mismos es de un 50%, he tomado tan sólo la mitad de la cantidad teórica de aire, o sean 0.644 mts. cúbicos, no dudando que este último dato sea muy próximo al verdadero. Este dato es el que utilizaré más delante en mi balance térmico.

Según un artículo de la "Revue de la Fonderie Moderne" del 10

de julio de 1929, hay algunos datos que son muy convenientes en los cubilotes: Cook recomienda para la fundición ordinaria una relación entre la sección total de las toberas y la sección del cubilote en el plano de las mismas de 1:9 y para las fundiciones especiales para cilindros una relación de 1:12 y hasta de 1:19. De tales datos se tienen secciones totales de las toberas notablemente inferiores a las comúnmente usadas. En mi caso por ejemplo existe la siguiente relación:

Sección total de las toberas.	1106 cms. cuads.
Sección en el plano de las toberas.	4776

4776 dividido por 1106 = 4.31.

Ordinariamente se tiene una relación de 1:5; en América, Dyer propone 1:6 para los cubilotes de 600 a 1000 mm. de diámetro; 1:7 para los de 1100 a 1570, 1:8.3 para los de 1625 a 2200.

La relación de la sección total de las toberas a la del tubo de introducción del aire será:

1.75 hasta 1.6:1 para los cubilotes hasta de 1000 mm. de diámetro.	
1.6 hasta 1.4:1 para los cubilotes de 1000 a 1600 mm. de diámetro.	
1.4 hasta 1.1:1 para los cubilotes arriba de 1600 mm. de diámetro	
En el caso que nos ocupa tengo los siguientes datos:	
Sección total de las toberas.	1106 cms. cuads.
Sección del tubo de viento.	713.6

1106 dividido por 713.6 = 1.55.

Como se ve por las anteriores relaciones, las cuales deben ser las mejores dimensiones que se deben tener en un cubilote, el que ocupa el presente estudio tiene una sección total de las toberas bastante grande para su diámetro que es tan sólo de 780 mm. En cuanto a la sección de los tubos de viento que en mi caso son dos pero que juntos suman la cantidad que se fijó más arriba, es un poco sobrada también.

En lo que concierne a la sección de la caja de viento, se la toma de 3 a 4 veces la del tubo de introducción del aire.

Sección de la caja de viento.	6992.41 cms. cuads.
Sección del tubo de viento	713.60

6992.41 dividido por 713.6 = 9.81.

Como se ve por los datos anteriores, esta nueva relación es muy superior a las indicadas como buenas o normales.

La altura del cubilote encima del plano de las toberas hasta el fragante estará limitada por la resistencia del cok a la compresión;

en general se toma esta altura igual a 4 ó 5 veces el diámetro al nivel de las toberas del cubilote.

Pfeiffer da como término medio el de 6 veces al diámetro al nivel de las toberas; Busek, de 5.1 a 6.17.

En nuestro caso tenemos los siguientes datos:

Diámetro del cubilote. 78 cms.

Altura desde el borde superior de las to-

beras hasta la puerta de carga. 297 cms.

297 dividido entre 78=3.8

Según Stoughton, para obtener la mejor marcha de un cubilote hay que tener ciertas dimensiones en él y además tomar ciertas precauciones al tenerlo en marcha. Por ej. aquí transcribo una parte de ello:

La zona de combustión del cok no debe pasar de 15 a 24 pulgadas arriba de las toberas, altura que deberá tener la zona de fusión.

15"=38.1 cms.—24"=31 cms. El cubilote en estudio tiene la zona de fusión a 90 cms.

Cada carga debe fundir entre 7 y 10 mins.

La presión no debe exceder de 16 onzas por pulgada cuadrada para los grandes cubilotes y disminuir proporcionalmente hasta ocho o menos onzas. Se calcula que se consumen 60 piés cúbicos de aire para quemar una libra de cok. La cama de cok deberá ser de 38 a 61 cms. Las capas de fierro de 15 cms. y las capas de cok de 18 cms.

Estas capas de cok deben estar proporcionadas a que representen de 1/6 a 1/12 del peso del metal. 1/6 para cuando es material duro (acerado), hasta 1/12 cuando es pedacería blanda y lingote.

La pérdida en silicio de la carga va de 0.25 a 0.4%, la de manganeso es de 0.1% y se absorbe de azufre un 0.03%.

Osann determina la presión que es necesario tener en un cubilote dado, comparándolo con otro de funcionamiento normal; se ha encontrado prácticamente la siguiente regla: "las presiones de aire que se tienen en un cubilote, son proporcionales a las raíces cuadradas de las cantidades de aire introducidas por segundo".

Según Osann, no hay error en calcular la presión de esta manera, y yo voy a calcular aquí la presión que sería necesario tener en el cubilote en estudio:

Este cubilote produce 1500 Kgs. de fierro por hora con un gasto de combustible del 14% del peso del metal cargado. Calculamos a razón de 6 mts. cúbicos de aire por Kg. de cok.

1500 dividido por 14 = 107 Kgs. de cok.

A razón de 6 mts. cúbicos, vienen siendo 642 mts.

642 dividido por 3600 = 0.1783 mts. cúbicos de aire por segundo.

Ahora bien, el cubilote de funcionamiento normal que Osann usó, para sus cálculos, fué uno que tenía una presión de 45 cms. de columna de agua, necesaria para fundir 5.3 tons. por hora, con un consumo de 9% de cok y una introducción de aire por cada Kg. de cok de 0.8 mts. cúbicos por seg.

Con estos datos y los anteriores establecemos la siguiente proporción: $x:45::0.1783:0.8$.

De donde se obtiene para x un valor de 21.24 cms. de columna de agua como presión que debe existir, o que es suficiente.

Como ya se vió anteriormente, la presión calculada teóricamente para el cubilote, 0.488 cms. de columna de Hg o sean aproximadamente 6.7 cms. de columna de agua, es muy inferior a la citada y la explicación la encuentro yo atribuyéndolo a los siguientes motivos: el No. de rpm del ventilador es muy bajo comparado con los de otros en uso en otras Plantas, ya que tenemos 1500 contra otros datos de 2000 como mínimo hasta 6000; los tubos de conducción del aire son más amplios que lo común, como se acaba de ver, así como la sección de la caja de viento. Por último la sección de las toberas, es bastante grande. Por tales motivos, la presión no es elevada en el cubilote, ya que se tiene un amplio volumen para la conducción del aire.

Para las dimensiones de un cubilote como el que nos ocupa, la cantidad de aire que entra por segundo debe ser la de 0.35 mts. cúbicos, determinada prácticamente (Moldenke), a 0 grados y 760 mm. de Hg de presión; en nuestro caso es una de 0.465 mts. cúbicos a 0 grados, por lo que se tiene un exceso de aire. Aunque la presión es muy baja, sin embargo se tiene una cantidad de aire bastante aproximada a la que se debe tener y por esa razón no hay que creer a simple vista que a una presión muy pequeña corresponda una cantidad de aire muy pequeña también.

Según Stoughton, se consumen 60 pies cúbicos de aire para quemar una libra de cok, o sean 3.74 mts. cúbicos de aire para un Kg. Por otro lado, Osann fija este valor en 6 mts. cúbicos de aire para 1 Kg. de cok, valor que es correcto pues yo encontré que se necesitan 7.24 mts. cúbicos de aire a 0 grados C y 760 mm. de presión, para quemar 1 Kg. de cok a CO₂ y agua, lo que en México, serían a una presión de 586 mm. y 18 grados de temperatura, 10 mts. cúbicos.

El mismo autor opina que no hay que descender de 1200 cms.

cuadrados de sección media de la cuba por tonelada de fierro que deba fundirse por hora; los cubilotes americanos mantienen un promedio de 1650 cms. cuadrados por tonelada.

El cubilote en estudio tiene 3692 cms. cuadrados de sección media de la cuba por tonelada de fierro que deba fundirse por hora, ya que funde tonelada y media por hora y tiene una sección total de 5538 cms. cuadrados. Se desprende del dato anterior que su producción horaria debería ser mayor, por lo menos dos tons. por hora; teóricamente 2237 Kg.s por hora.

El período de descenso de las cargas es muy importante en el funcionamiento de un cubilote: el cok de encendido y el cok de fusión son los que determinan la velocidad del paso de las cargas por la zona de fusión, es decir, la mayor o menor rapidez con que se funde una carga, pero también influye desde luego la cantidad de aire que se inyecta. A mayor cantidad de aire que se inyecta aumenta la producción horaria del horno pero también aumentan las pérdidas de fierro por oxidación, además que si no están bien calculadas las cargas, el fierro empieza a salir caliente, pero a medida que transcurre el tiempo va saliendo cada vez más frío y entonces o hay que disminuir el aire o hay que aumentar el cok de fusión, lo cual va en detrimento del fundidor. Por eso se ha establecido una altura determinada de la zona de fusión y un espesor determinado de las capas de fierro, para que sólo una carga se funda en la zona de fusión y terminándose de fundir ya esté la otra para entrar en dicha zona; cuando se funde más de una carga en la zona de fusión, es que el cubilote está muy caliente y se está forzando su producción o es que las capas del fierro fueron demasiado delgadas y el cok de fusión en exceso; por el contrario cuando la carga funde muy despacio dentro de dicha zona, es señal de que el horno está frío.

Según Osann, el período de descenso de las cargas se puede averiguar indirectamente según el número de segundos que los gases calientes permanecen dentro del cubilote. Este número se determina por medio de una fórmula empírica, que él obtuvo y que es la siguiente:

$$z = \frac{J}{Q}$$

z = número de segundos.

J = capacidad en mts. cúbicos del cubilote, desde la zona de las toberas.

Q = cantidad de gases en mts. cúbicos a 0° que escapan del cubilote en un segundo.

Para z se establecen los valores siguientes: (Tabla tomada del Osann, Fundición del Fierro, pág. No. 93).

- a) En cubilotes de fábricas de acero. $z = 6.6$
- b) En cubilotes de fundería, para piezas muy pesadas. $z = 4.1$
- c) En cubilotes de fundería, para piezas de peso med. $z = 3.7$
- d) En cubilotes de fundería, para ligeras piezas de máquina. $z = 3.3$
- e) En cubilotes de fundería, para piezas de fumistería. $z = 3.1$

El cubilote en estudio, que corresponde a la última denominación, da como valor para z el siguiente:

$J = 1.73$ mts. cúbicos.

$Q = 0.49$ mts. cúbicos por segundo a $0^{\circ}C$.

$Z = 3.53$ segundos.
por segundo a 0°

De lo anterior se desprende, que los gases no ascienden lo aprisa que debieran, lo cual traerá como consecuencia una formación mayor de la normal, de CO , por estar más tiempo en contacto el anhídrido carbónico a una temperatura elevada con el cok incandescente; en efecto, el cubilote en estudio presenta una gran cantidad de llamas en el tragante, debidas a la combustión del CO .

Proceso químico de la fusión en el cubilote

Aunque la composición del fierro colado obtenido difiere muy poco de la del fierro cargado en el cubilote, siempre que no se trate de una mezcla de diversas clases de fierro, no por eso deja de haber varias reacciones en el proceso de la fusión.

Casi todas las reacciones en el interior del cubilote son de oxidación, debidas al aire a presión que se inyecta.

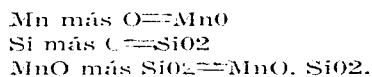
De los elementos extraños contenidos en el fierro, como son el C , S , P , Si , y Mn como principales, al estado de fusión del fierro se oxidan en el orden siguiente:

Mn , Si , C , Fe , S y P .

El $1o.$ es el más ávido de oxígeno, formando el MnO que pasa a la escoria al estado de solución sólida o al estado de silicato manganeso. Cuando existe en cantidades superiores al silicio o en cantidades de 1 a 2% en los fierros corrientes, se oxida al principio rápidamente, pero llegando a un cierto limite, digamos 0.4% se oxida más len-

tamente debido a que en esa cantidad ya el silicio entra al proceso de oxidación y lo hace muy rápidamente.

En caso contrario, cuando el silicio es mucho, o aún en el caso de los fierros corrientes con 2 y 3% de Si, pero con cantidades de Mn inferiores a 0.7%, entonces se oxida muy rápidamente y primero el silicio.



El SiO₂ pasa a formar la escoria con la cal que se carga.

Lo más probable es que el Mn, esté en la escoria formando solución sólida, ya que se trata de cantidades pequeñas y además de que el silicio tiene mayor afinidad por el Ca que por el Mn.

El fierro también se oxida en parte, pasando a la escoria en forma de FeO.

El azufre elemental que queda libre también se combina con el hierro, formando sulfuro ferroso, FeS. Pero cuando hay Mn libre, entonces se forma sulfuro de manganeso, MnS.



por eso cuando se quiere desulfurar un poco el hierro colado, se añade ferromanganeso, porque entonces gran parte del azufre pasa a la escoria al estado de MnS.

La eliminación u oxidación del fósforo casi es nula, por estar en presencia de un ácido como es el H₂SiO₃, sin embargo pequeñas porciones pasan a la escoria en forma de Ca₃(PO₄)₂, o de Fe₃(PO₄)₂.

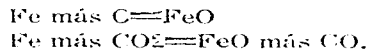
La oxidación del fósforo se evita por la presencia del revestimiento ácido (silicoso), del cubilote y por el alto contenido en Si del fierro (2 a 3%). Para eliminarse, se necesitaría como en el caso del acero, un revestimiento básico a neutro y una escoria muy básica.

En cuanto al % de carbono en el fierro colado, puede aumentar un poquito o disminuir también, dependiendo esto de si la marcha del cubilote es oxidante o reductora.

La principal reacción química en el interior del cubilote es la combustión del carbono del cok. Esta nunca se verifica totalmente a CO₂ ó a CO, dependiendo esto de las condiciones que reinan dentro del cubilote. Esta reacción en lugar de ser de importancia química, lo es de importancia térmica. Como se sabe perfectamente la combustión

de un Kg. de carbono desprende 8137 Cal. cuando se verifica cuantitativamente a CO_2 , y tan sólo 2448 cuando se verifica a CO .

Desde el punto de vista térmico, lo ideal en el cubilote es tener todo el carbono quemado a CO_2 . Para verificar esto en la práctica, como no sería posible inyectar el aire exactamente necesario para la combustión y para asegurarse de ésta, se inyectaría un ligero exceso. Una marcha del cubilote en estas condiciones, es lo que se llama una marcha oxidante tanto por el oxígeno presente, como por el CO_2 . Estas marchas, está comprobado prácticamente, acarrean una pérdida considerable de hierro por oxidación.



Económicamente, no sólo por esta razón no se hace que la combustión del carbono sea completa, sino que como el aire al cubilote se inyecta frío siempre hay que agregar un poco más de cok para compensar este enfriamiento. Tampoco quemar todo el carbono a CO es conveniente por el gran gasto de combustible que se tiene.

Así que el fundidor tiene que buscar una marcha en su cubilote, la más óptima, en la cual no desperdicie calorías del cok ni tampoco que tenga pérdidas considerables del hierro, por oxidación. Esto se consigue siempre más rápidamente por la práctica.

Se ha encontrado que el CO es inestable a temps. superiores a 1000°C , de lo que se deduce que una marcha oxidante de un cubilote se debe a la oxidación, pero no del CO_2 , sino del oxígeno que se forma al disociarse el CO_2 .

El azufre del cok se quema en parte a SO_2 y SO_3 ; se fija como dato para esta combustión, el de que 2/3 partes se van en los gases del cubilote y una 3a. parte pasa a formar FeS o pasa a la escoria. El azufre está en el hierro colado en forma de MnS o FeS , lo mismo que en la escoria, en la que también está como CaS .

De la práctica se han obtenido los siguientes datos:

Las pérdidas que experimenta una carga por oxidación, son las siguientes:

Si, de 0.25 a 0.40%
 Mn, de 0.1 a 0.20%
 Fe, de 0.60 a 0.80%
 y de azufre se absorbe un 0.03%.

Estos datos son los que tienen presentes los fundidores para el cálculo y proporción de sus cargas.

La escoria producida en el cubilote, es un silicato de calcio, magnesio y aluminio. Es muy espesa y al solidificarse lo hace dando lugar a un sólido amorfo, de color café muy obscuro o negro, frágil, pero duro para pulverizarse en el mortero. Es digno de hacer notar, que la caliza que se cargó no contiene Si; y que el que pasa a las escorias procedente del hierro o del ferrosilicio, es relativamente poco; sin embargo la escoria obtenida tiene la siguiente composición:

FeO..	2.50%
SiO ₂	50.60%
Al ₂ O ₃	26.22%
MnO..	2.03%
CaO..	13.15%
MgO..	5.95%
S..	0.14%

Lo que indica claramente que casi todo el Si y toda la alúmina, provienen del revestimiento del cubilote o del material con que se reparan los desgastes del mismo.

Según Osann, el promedio de diversas marchas en cuanto a cubilotes de fundería respecta, indica que se obtiene más o menos el 10% de escoria del peso de la carga de hierro. En una marcha del cubilote en estudio, se cargaron 3540 Kgs. de hierro, por lo que deberían haberse obtenido más o menos 354 Kgs. de escorias. Sin embargo, se obtuvieron 700 Kgs., lo que viene a representar un 10% de más o menos 19,9. Esto se debe, puesto que la adición de fundente es tan sólo del 5%, al fuerte desgaste del revestimiento, o a que todo el material que se usó para reparar el interior del cubilote, pasó en la marcha siguiente, a la escoria.

BALANCE DE MATERIALES

El siguiente balance de materiales se hizo tomando como ejemplo las cargas que se usaron en la fusión del 11 de octubre de 1932. Como ya esas cargas se citaron en otra parte de este escrito, doy únicamente en forma condensada la composición de esas cargas.

PEDACERIA (1500 Kgs.)

Composición en %		Peso en Kgs. de los elementos	
C total.	3.01	C total	45.15
Si	2.48	Si	37.20
S.	0.0876	S.	1.31
P.	0.70	P.	10.50
Mn.	0.55	Mn.	8.25
Fe.	93.17	Fe.	1397.59

GRANADA (1100 Kgs.)

C total.	3.56	C total	49.84
Si.	2.24	Si.	31.36
S.	0.042	S.	0.588
P.	0.664	P.	9.296
Mn.	0.55	Mn.	7.70
Fe.	92.944	Fe.	1301.21

LINGOTE MONTERREY (600 Kgs.)

C total.	3.28	C total.	19.68
Si.	3.37	Si.	20.22
S.	0.05	S.	0.30
P.	0.80	P.	4.80
Mn	0.68	Mn	4.08
Fe.	91.82	Fe.	550.92

FERROSILICIO (24 Kgs.)

C total.	0.12	C total.	0.03
Si.	75.50	Si.	18.12
Fe.	24.38	Fe.	5.85

FERROMANGANESO (16 Kgs.)

C total..	5.15	C total..	0.82
Mn..	60.92	Mn..	9.74
Fe..	33.93	Fe..	5.44

CALIZA (200 Kgs.)

H ₂ O..	0.03	H ₂ O..	0.06
Si O ₂	0.11	Si..	0.10
CaO..	32.25	CaO..	64.50
MgO..	20.06	MgO..	40.12
Fe ₂ O ₃ más Al ₂ O ₃ ..	1.26	Fe ₂ O ₃ más Al ₂ O ₃ ..	2.52

COK (740 Kgs.)

C fijo..	76.97	C fijo..	569.58
S..	1.74	S..	12.87
H ₂ O..	0.55	H ₂ O..	4.07
Si O ₂	10.58	Si..	36.56
Fe ₂ O ₃	1.40	Fe..	7.24
Al ₂ O ₃	5.00	Al ₂ O ₃	37.00
CaO..	0.74	CaO..	5.48
MgO..	0.21	MgO..	1.55

TOTAL DE ELEMENTOS EN LA CARGA

C total, únicamente el del hierro.. . .	115.52	Kgs.
Si, el del hierro..	106.90	..
Si total..	143.56	..
S, el del hierro..	2.198	..
S, el del cok..	12.87	..
S total..	15.068	..
P..	24.596	..
Mn..	29.77	..
CaO..	69.98	..
MgO..	41.67	..
Al ₂ O ₃	39.52	..
Fe..	3268.25	..

PRODUCTOS OBTENIDOS

FIERRÓ COLADO (35.38 Kgs.)

C total..	3.04	C total..	107.55
Si..	2.48	Si..	87.74
S..	0.0866	S..	3.06
P..	0.628	P..	22.22
Mn..	0.53	Mn..	18.75
Fe..	93.2354	Fe..	3298.68

ESCORIA (700-35 Kgs.)

Si O ₂	50.00	Si..	163.70
FeO..	2.50	Fe..	13.48
Al ₂ O ₃	26.22	Al ₂ O ₃	183.63
MnO..	2.03	Mn..	10.99
CaO..	13.15	CaO..	92.09
MgO..	5.95	MgO..	41.67
S..	0.14	S..	0.98
P..	huellas	P..	2.37

Conforme al total de elementos en la carga, he sacado la composición del hierro que se cargó, es decir, la resultante de los diversos materiales cargados en el horno, composición que obtuve tomando como base la cantidad de 3.540 Kgs. de hierro colado y los pesos en Kgs. de los demás elementos. He aquí dicha composición:

C total..	3.26	%
Si..	3.02	%
S..	0.062	%
P..	0.695	%
Mn..	0.84	%
Fe..	92:123	%

Y según la composición resultante del hierro colado obtenido, se notan las siguientes pérdidas y ganancias:

De carbono total se perdieron..	0.22	%
De silicio se perdieron..	0.54	%
De azufre se ganaron..	0.0246	%
De fósforo se perdieron..	0.067	%
De manganeso se perdieron.. . . .	0.31	%

Lo que quiere decir, que en la marcha del cubilote, se oxidaron las siguientes cantidades de éstos elementos que pasaron a la escoria, menos el carbono que se escapó en los gases.

De carbono se oxidaron.. . .	7.788 Kgs.
De silicio se oxidaron.. . . .	19.110 „
De manganeso se oxidaron.. . .	10.97 „
De fósforo se oxidaron.. . . .	2.37 „

Todos estos elementos se encontraban únicamente en el hierro que se cargó. Además el hierro tomó durante el proceso de su fusión, 862 gms. de azufre del cok.

Al observar el análisis de la escoria resultante, como ya lo hice notar en otra parte del presente trabajo, se nota desde luego un aumento muy grande en la sílice y en la alúmina. Por lo tanto podemos poner:

ELEMENTOS QUE PROVIENEN DE LA ARENA DE LOS MOLDES, DEL REVESTIMIENTO DEL HORNO Y DEL BARRO REFRACTARIO CON QUE SE REPARA

Silicio..	144.59 Kgs.
Alúmina..	144.11 „
Cal..	22.11 „

Del azufre del cok se quemaron 11.028 Kgs., 0.862 Kgs. pasaron al hierro y 0.98 Kgs. pasaron a la escoria.

El fósforo en la escoria no lo pude determinar cuantitativamente en virtud de que son pequeñísimas las cantidades de ese elemento existentes en el número de gramos que se toman para hacer la determinación, como son uno, dos y hasta cinco gramos. Y no sólo eso, sino por las dificultades que tiene de por sí el ataque y disolución de la escoria, por el número grande de elementos que acompañan al fósforo, que evita poder aislársele en una solución más o menos pura y por el pequeñísimo precipitado que se forma de fosfomolibdato de amonio, muy difícil de filtrar y en caso de filtrarlo, no tener la seguridad de que se ha ido algo de ácido fosfomolibdico.

ANÁLISIS DE LOS GASES DEL TRAGANTE

El análisis de los gases fué hecho por el conocido aparato de Orsat, directamente cerca de la puerta de carga y utilizando para obtener la muestra un largo tubo de latón que se introdujo en el interior del horno y se hundió entre la carga. Del promedio de varios análisis

obtuve el siguiente, que me servirá para hacer el balance térmico y que corresponde a la fusión del 11 de octubre de 1932.

Anhidrido carbónico..	13.50 %
Monóxido de carbono..	8.75 %
Oxígeno..	0.8 %
Nitrógeno, por diferencia..	76.95 %

BALANCE TERMICO

El ventilador inyecta una cantidad de 0.644 mts. cúbicos de aire por segundo, que transformada a 0° y 760 mm. de Hg viene a ser una de 0.465 mts. cúbicos, para una producción horaria de 1½ tons. de hierro. Los gases de la chimenea salen a una temperatura de 540°C.

En una hora se inyectaron 1674 mts. cúbicos, que por el aumento de volumen que produce el CO, se transformaron en 1756.43 mts. cúbicos de compuestos:

1351.57..	de nitrógeno.
237.12..	de anhídrido carbónico.
153.68..	de monóxido de carbono.
14.06..	de oxígeno.
<hr/>	
1750.43	

CALOR CONTENIDO EN ESTOS GASES.—En grandes calorías.—

Calor del CO, N y O.

$$(153.68 + 1351.67 + 14.06) \times [0.303 (540) + 0.000027 (540)^2] = 262261.37 \text{ Cals.}$$

Calor del anhídrido carbónico:

$$237.12 \times [0.37 (540) + 0.00022 (540)^2] = 62587.82 \text{ Cals.}$$

Calor contenido en el hierro colado, (1500 Kgs.)

$$1500 \times 232 = 348000 \text{ Cals.}$$

Calor contenido en la escoria, (311.26 Kgs.)

$$311.26 \times 373 = 116099.98 \text{ Cals.}$$

Pérdida de calor por combustión incompleta, o sea por combustión del carbono sólo a CO, y para un poder calorífico de este gas de 3062 Cals. por metro cúbico.

$$153.68 \times 3062 = 470568.16 \text{ Cals.}$$

Calor producido por el cok, (210 Kgs.) calculado teóricamente por la fórmula de Goutal.

$$210 \times 6733 = 1413930 \text{ Cals.}$$

PERDIDA DE CALOR POR RADIACION

Diferencia entre los calores aprovechados y el calor del cok:

Calor en el fierro fundido... 348000.00 Cals.

Calor en la escoria... 116099.98 ..

Calor perdido por combustión incompleta... 470568.16 ..

Calor contenido en los gases... 324849.19 ..

Total... 1259517.33 ..

Calor contenido en el cok... 1413930.00 ..

Diferencia... 154412.67 ..

Esta diferencia, es el calor perdido por radiación.

En seguido expreso los calores aprovechados o perdidos, en % de Cals. del Nc. total de Cals. teóricamente dadas por 210 Kgs. de cok.

Eficiencia en la fusión del fierro.

348000.00

----- = 0.2461 = 24.61 %

1413930.00

Por ciento de calorías consumidas por la escoria.

116099.98

----- = 0.0821 = 8.21 %

1413930.00

Por ciento de calorías consumidas por los gases del tragante.

324849.19

----- = 0.2297 = 22.97 %

1413930.00

Por ciento de calorías perdidas por combustión incompleta.

470568.16

----- = 0.3328 = 33.28 %

1413930.00

Pérdida por radiación.

154412.67

----- = 0.1092 = 10.92 %

1413930.00

Se desprende del siguiente balance térmico, que la eficiencia de fusión del cubilote comparado con otros cuya marcha es normal, es bastante baja, pues esta eficiencia oscila entre el 30 y el 50 %.

En cuanto a la pérdida por combustión incompleta, es bastante grande y aunque aparentemente este cubilote sería de una marcha reductora, no es así, sino que debido a la extensión excesiva de la zona de fusión el anhídrido carbónico que se forma, al atravesar las ca-

pas calientes de cok forma mucho monóxido de carbono que es el que luego va a encenderse en el tragante.

Por otra parte el hierro al tener que recorrer al estado fundido una distancia mayor que la normal, a través del soplo de las toberas se oxida un poco, pero más bien se oxidan el silicio y el manganeso del ferrosilicio y del ferromanganeso que lo protegen.

Según Osann, en los análisis de gases de las mejores marchas de un cubilote, donde han podido obtener el mejor rendimiento térmico, el % en volumen del CO ha oscilado entre 3 y 5%. Tomando como número el de 5% de CO, en mi caso he hecho únicamente el cálculo de calorías perdidas por la formación de un exceso de CO, es decir, el de 3.75%. Encontré así, que con un 5% sólo se formarían 87.82 mts. cúbicos, quedando por lo tanto 65.86 mts. cúbicos que multiplicados por su poder calorífico de 3062 Cals. da un total de 201663.32, con las que en un cubilote en marcha, se podrían fundir 869.24 Kgs. de hierro. Por lo anterior se deduce que a la cantidad de cok cargada corresponde una producción de hierro fundido alrededor de 2 toneladas y media por hora.

Nota.—Todos los calores específicos usados en el balance térmico fueron tomados del "Metallurgical Calculations, de Richards".

DETERMINACIONES DE LOS CALORES DEL HIERRO Y DE LA ESCORIA

Estas determinaciones las hice el mismo día de la fusión del 11 de octubre de 1932.

Para la determinación del calor contenido en el hierro procedí de la manera siguiente:

En un recipiente de peltre de unos 12 lts. de capacidad puse 6 lts. de agua fría y anoté la temperatura de ésta; después a la hora de estar saliendo el hierro fundido del horno se anotó su temperatura, lectura que se hizo valiéndose de un pirómetro óptico y entonces provisto de una pequeña cuchara separé rápidamente una cantidad del hierro y la eché al recipiente del agua fría; luego esperé agitando el agua a que el termómetro marcara la temperatura máxima alcanzada, que también la anoté.

Ya con estos datos y el peso del hierro echado dentro del agua, se puede calcular el calor contenido en el hierro.

A continuación doy el resultado de la prueba:

Agua.	6 ltros. a 15°C.
Se elevó a.	26°C. con 285 gms. de hierro.
Temperatura del hierro. . .	1250°C.

Entonces resulta que la temperatura se elevó en 11° C., lo que equivale a 11 Cals. por litro o sean 65 Cals. por los 6 litros de agua. Como fueron 285 gms. de fierro, una sencilla proporción nos da el calor, expresado en Cals. que contienen 1000 gms. de fierro, o sea un Kg. y que resultó ser de 232.

Para determinar el calor contenido en la escoria, procedí exactamente de la misma manera, nada más, que opino que este valor obtenido está un poco más cercano al verdadero, porque en este caso, intercepté el chorro de escoria líquida por medio del recipiente que contenía el agua fría, por lo que hubo menores pérdidas del calor por radiación.

He aquí el resultado de dos pruebas efectuadas:

Agua a 15° C. 6 litros.
Se elevó a 31° C. con 300 gms. de escoria.
Temperatura de la escoria 1200° C.

En este caso hubo un aumento de temperatura de 16° , lo que hace 16 Calorías por litro o sean 96 Cals. por los seis, que son las que contenían los 300 gms. de escoria. Para 1 Kg. resultan 320 Cals.

La segunda determinación fué la siguiente:

Agua a 16.5° de temperatura 7600 c. c.
Se elevó a 27° con 214 gms. de escoria.
Temperatura de la escoria 1250° C.

Hubo una diferencia de temperatura de 10.5° o sean 10.5 Cals. por litro, 79.8 Cals. por los 7.6 litros, calor que contenían los 214 gms. de escoria. De aquí resultó para 1 Kg. de escoria, el de 373 Cals. dato que utilicé para verificar mi balance térmico.

Tanto el hierro como la escoria, fueron secados antes de ser pesados. La temperatura de los gases del tragante, fué tomada por medio del pirómetro termoelectrico de Le-Chatelier, que provisto y protegido por un pedazo de tubo de combustión de porcelana, fué introducido dentro del horno y dejado a la acción de los gases ascendentes, hasta que la temperatura máxima no varió durante 5 mins. consecutivos o se mantuvo más o menos constante.

La marcha del cubilote ha sido mejorada grandemente en el transcurso de los meses entre octubre y marzo. Entre las mejoras citadas se encuentran las siguientes:

La producción horaria se ha elevado a 2 Tons.

Ya no hay formación de llamas en el tragante y el análisis de los gases da más o menos los siguientes datos:

De anhídrido carbónico entre 12 y 14%.

De monóxido de carbono entre 2.5 y 4%.

De oxígeno alrededor de 1%.

Datos que se pueden considerar como los correctos. La pérdida de calor por combustión incompleta se ha reducido a un mínimo.

ESTUDIO METALOGRAFICO DEL MATERIAL OBTENIDO

Antes de empezar el estudio a que este capítulo se refiere, juzgo necesario y a la vez oportuno indicar las generalidades acerca de las fundiciones.

Las fundiciones se dividen en tres grupos generales: fundiciones blancas, fundiciones grises y fundiciones maleables.

Las primeras se caracterizan por tener casi todo o todo su carbono combinado al estado de carburo de hierro, compuesto que en metalografía se conoce con el nombre de cementita de fórmula Fe_3C , cuerpo extremadamente duro y frágil; por su estructura fina granular, su color blanco, por ser quebradizas, frágiles, duras y porque no se pueden trabajar con las herramientas.

Las fundiciones grises como su nombre lo indica, se caracterizan por su color gris más o menos obscuro, su estructura porosa de grano más o menos abierto, ser blandas y trabajarse fácilmente con las herramientas. En ellas el carbono está casi exclusivamente al estado de grafito.

Las fundiciones maleables poseen propiedades especiales que las hacen muy apreciadas en la industria y se obtienen por diversos procedimientos, recibiendo entonces diversos nombres pero siempre a partir de la fundición blanca la que se somete a un recocido de varias horas a temperaturas entre 800 y 1000 grados.

Además de esta clasificación, tenemos una subdivisión de las fundiciones grises, constituyendo otras variedades de esta fundición y que reciben su nombre del componente estructural que se haya en mayor proporción y así por ej., tenemos las fundiciones ferríticas y las perlíticas.

De estas dos últimas, la perlítica es una de gran importancia por las variadas aplicaciones que tiene en la fabricación de piezas moldeadas que necesitan una resistencia elevada junto con una maleabilidad o elasticidad que no suministran las otras fundiciones. Se obtienen colando el hierro a temperaturas elevadas (cerca de 1500) sobre los moldes calentados previamente a 300-400 grados C. Esto permite un enfriamiento más lento que lo común, con lo que el grafito se se-

para finamente dividido dándole entonces mayor resistencia a la fundición. Asimismo la perlita se forma en gran cantidad y de aquí el nombre que recibe.

El fierro colado que se obtiene en el cubilote en estudio, pertenece al grupo de las fundiciones grises de grano medio, de dureza y resistencia regulares, fáciles de trabajarse con las herramientas y cuyos componentes estructurales son el grafito, la perlita y la ferrita.

Esto se deduce, aparte de la observación macroscópica, de su composición química y porque la observación microscópica reveló dichos componentes estructurales. Para afirmar lo dicho, ilustro el presente trabajo con dos microfotografías de la fundición gris y otras dos que sirven para compararias y diferenciarlas. Estas fotografías pertenecen a muestras pulidas previamente y atacadas posteriormente durante un minuto con el reactivo ácido nítrico en alcohol, para poner al descubierto dichas estructuras.

La microfotografía No. 1 pertenece al fierro colado obtenido. En ella se aprecia la estructura de la perlita (fibrillas negras) sobre el fondo blanco de la ferrita, que no es pura, porque tiene elementos como el Mn, S, P y Si que la impurifican, con el grafito diseminado irregularmente en forma de manchas amorfas negras y notablemente en forma de venas: se ven también algunos cristales de sulfuro de manganeso y las lagunas de la esteadita (eutéctico de fosforo de fierro más fierro).

La microfotografía No. 2 pertenece a otra zona de la misma muestra y permite apreciar un bonito eutéctico esteadita con estructura perlítica alrededor.

La microfotografía No. 3 pertenece a una muestra de fundición blanca. La estructura es de cementita y de perlita únicamente; perlita, manchas negras y cementita fondo blanco.

La microfotografía No. 4 pertenece a una muestra de fundición maleable. En ella se ve la estructura poligonal de la ferrita, una bonita estructura de perlita y el grafito de recocido diseminado en forma de pequeñas manchas negras.

En cuanto a las pruebas mecánicas, no me fué posible como yo hubiera querido, determinarlas. Por lo tanto me conformo aquí con poner los resultados de durezas obtenidas con el aparato Rockwell y transformados a grados de dureza Brinnell.

Las durezas de las fundiciones de las microfotografías son las siguientes:



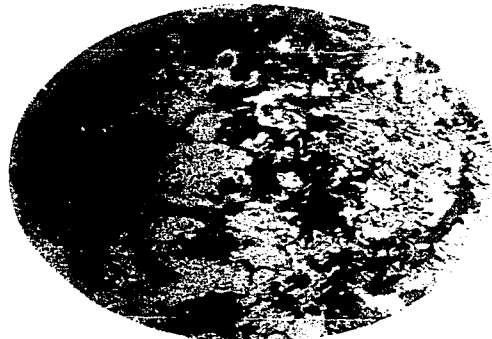
MICROFOTOGRAFIA No. 1
C total, 3.18% ; S, 0.136% ;
Si, 2.28% ; P, 0.758% y Mn, 0.47% .
Aumento de 232 diámetros.
Perlita, ferrita y grafito.



MICROFOTOGRAFIA No. 2
La misma de la No. 1.
Eutéctica de fósforo de hierro.



MICROFOTOGRAFIA No. 3
C total, 2.68% ; Mn, 0.46% ;
Si, 1.93% ; P, 0.622% y S, 0.02% .
Cementita y Perlita.
Aumento de 232 diámetros.



MICROFOTOGRAFIA No. 4
C total, 2.48% ; S, 0.086% ;
Mn, 0.37% ; P, 0.21% , y Si, 0.7% .
Ferrita, perlita y grafito de reco-
cido.
Aumento de 470 diámetros.

Fundición gris	176
.. blanca	494
.. maleable	139

De otras muestras:

Fundición No. 1	185
.. No. 2	144
.. No. 3	162
.. No. 4	176
.. blanca No. 2	482

Composiciones de estas fundiciones:

Fund. No. 1	C total, 2.83%; Mn, 0.45; Si, 2.38; P, 0.06; S, 0.11
Fund. No. 2	C total, 2.96%; Mn, 0.60; Si, 2.58; P, 0.06; S, 0.11
Fund. No. 3	C total, 2.64%; Mn, 0.52; Si, 2.12; P, 0.59; S, 0.11
Fund. No. 4	C total, 2.65%; Mn, 0.51; Si, 2.47; P, 0.53; S, 0.10
Fund. blanca No. 2	C total, 2.90%; Mn, 0.46; Si, 1.97; P, 0.64; S, 0.09

CONCLUSIONES

Del presente estudio comparativo se deducen diversos hechos, que estudiados y comprendidos conducen a establecer las mejoras, reformas o innovaciones que traerán por consecuencia un mejoramiento en el proceso de la fusión, unido a la obtención de un hierro colado de mejor calidad y más homogéneo y a economías cuando se trate de mercantilizar el producto de dicha fundición.

Hay detalles de construcción en el cubilote que sería conveniente modificar. En primer lugar, la disposición de las toberas. Estas, además de no ser todas iguales, como pasa en el cubilote estudiado, deberían ser de una área menor y tender a formar una sola tobera circular que es la que da los mejores resultados. Esto se conseguiría aumentando su largo y disminuyendo su alto, de tal manera que la penetración del aire se verifique hasta el centro del horno; con toberas altas y anchas, la velocidad del aire disminuye y entonces éste no llega hasta el centro, quedando por lo tanto una zona de material que no reacciona como debiera, llegando entonces trozos de hierro sin fundirse hasta el fondo del crisol. En cuanto se refiere al cok, éste no ardería completamente y llegaría también hasta el hierro líquido carburando en esos momentos la fundición. Además, como entonces el aire asciende más lentamente, hay una formación mayor de CO por contacto más prolongado del CO₂ con el cok incandescente y por lo tanto una pérdida de calorías por combustión incompleta.

En segundo lugar, aunque no de mucha trascendencia, es el detalle de la altura del crisol a la puerta de carga. Cuando esta altura se determina perfectamente, se tiene una tal, que permite el aprovechamiento máximo del calor de los gases de salida sin detrimento del tiro de la chimenea. Es decir, que el calor que llevan los gases ascendentes, se aprovecha en parte, porque de otra manera los gases llegarían fríos a la puerta de carga y no se establecería el tiro necesario por diferencia de temperaturas. Como se deduce del dato de la temperatura de 540 grados Cent. de los gases en la puerta de carga, esta temperatura es bastante elevada, debiendo ser de 300 a 400 grados Cent. Haciendo mayor la altura entre el crisol y la puerta de

carga, se aprovecharía el calor de los gases para calentar las cargas superiores y de esta manera se evitaría esa pérdida.

Después de estos detalles de construcción, existen algunas deficiencias en la manera de conducir el proceso.

Refiriéndome a los datos prácticos obtenidos con cubilotes cuyo rendimiento es magnífico, se modificaría la cama de cok y el cok de fusión, con lo cual se tendría una economía de combustible. Proporcionando las cargas de metal y cok se arreglaría la zona de fusión que es de gran extensión, con lo cual se obtendría una mejora en el proceso, disminuyendo las pérdidas por oxidación, que no son de hierro propiamente sino de Si y de Mn. Como hago constar en otra parte de este trabajo, las pérdidas por oxidación son más elevadas que las cifras corrientes, la de carbono en 0.22% de más, la de Si en 0.14% de más y la de Mn en 0.21 de más. Esto es debido a la gran extensión de la zona de fusión y al exceso de aire que se supone contiene el cubilote. Disminuyendo estas pérdidas por oxidación se tendría una economía en el gasto de ferrosilicio y de ferromanganeso.

Por lo tanto es necesario disponer de un mecanismo o dispositivo que nos indique en cualquier momento la cantidad de aire en volumen pero mejor en peso que entra por minuto o por segundo al cubilote. De esta manera podremos fijar e introducir la cantidad de aire (si es que se posee un buen ventilador de volumen constante) justamente necesaria.

Como muy importante considero yo, el establecer un antecrisol en el cual verificar una perfecta separación del hierro y de la escoria y una desulfuración mediante cualquiera de los métodos conocidos, que sería una mejora muy benéfica en provecho de la calidad del hierro obtenido.

La escoria también se modificaría, usando una caliza pura, ayudada por el espato fluor, para obtener una de bajo punto de fusión y bastante fluida. El revestimiento de ladrillos silicosos del horno se cambiaría por uno de ladrillos de bajo % de sílice y ricos en alúmina para que aún el desgaste fuera menor debido a que en el presente teniendo una escoria básica y un revestimiento ácido, es más probable la combinación de la sílice con la cal.

El cok se cambiaría por uno de mejor calidad, es decir por uno muy rico en carbono y de bajo % de azufre, porque se ha visto que las calidades de hierro obtenido con estos carbones pagan la diferencia de precios por las ventajas que reportan al fundidor.

CONTROL TECNICO

En mi concepto, el control de un cubilote y el del fierro obtenido debe hacerse en la siguiente forma:

Estudiado ya el cubilote en la forma que se ha descrito y hechas todas las mejoras y correcciones posibles, por medio de la composición química, tanto del material que se carga como del material obtenido; por el estudio o análisis metalográfico y por medio de las pruebas físicas (resistencias mecánicas).

De esta manera se pueden ligar hechos, observaciones o experimentos para establecer deducciones firmes y ciertas, que unidas a la práctica, tienen que conducir forzosamente al perfeccionamiento de obtención de un producto homogéneo y de buena calidad que acredite al fundidor como competente en su ramo.

BIBLIOGRAFIA

- Osann.**—Fundición del hierro y el acero.
Moldenke.—Principles of Iron Founding.
W. H. Hatfield.—Cast Iron in the light of recent research.
Benedicks.—Metallographic Researches.
Palmer.—Foundry Practice.
William Roxburgh.—General Foundry Practice.
Lana-Sarrate.—Metalografía.
Stillman.—Engineering Chemistry.
Joh. Mertens y Erdmann Kothny.—Hierro colado, acero moldeado y Fundición Maleable.
Carpenter and Diederich.—Experimental Engineering
Hütte.—Manual del Ingeniero Químico.
Bamford and Harris.—The Metallurgist Manual.
Richards.—Metallurgical Calculations.
Bradley and Stoughton.—The Metallurgy of Iron and Steel.
Blair.—The Chemical Analysis of Iron.
W. G. Senter.—Physical Chemistry.