

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**IMPORTANCIA DEL OXIGENO EN LA
OBTENCION DE ACERO POR EL PROCESO
SIEMENS MARTIN - BASICO**

25

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

ROBERTO ARMENDARIZ REYES

MEXICO, D. F.

1974



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.

14 Tesis
30
ECHA 1974
PRDC
M. 7. 22



QUÍMICA

A MIS PADRES

CON AGRADECIMIENTO

A MIS HERMANOS

A MI ESPOSA

POR SU APOYO

A LA FACULTAD DE QUIMICA

A MIS MAESTROS

A MIS AMIGOS

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE:

PRESIDENTE: Ing. Manuel Gaviño Riviera
VOCAL: Ing. Fernando Maldonado Mendoza
SECRETARIO: Ing. José Campos Caudillo
1er. SUPLENTE: Ing. Enrique Martínez Martínez
2o. SUPLENTE: Ing. Arturo Acevedo Gómez

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: A.H.M.S.A. Monclova, Coah.

SUSTENTANTE: Roberto Armendáriz Reyes
ASESOR: Ing. José Campos Caudillo

I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I.- GENERALIDADES.....	2
1.1.- Arreglo General del Taller.....	4
1.2.- Descripción del Horno y sus Modificaciones en diseño para inyección de oxígeno.....	7
CAPITULO II.- OPERACION.....	21
2.1.- Descripción del Proceso.....	21
2.2.- Afino.....	31
2.3.- Inyección de oxígeno por lanza durante el afi- no.....	48
2.4.- Balance de carga.....	52
2.5.- Balance térmico.....	55
2.6.- Balance total.....	56
2.7.- Tipos de aceros producidos.....	57
2.8.- Usos.....	61
2.9.- Calidad de los aceros con inyección de oxígeno	62
2.10.- Obtención de oxígeno.....	66
2.11.- Lanzas para inyección de oxígeno.....	70
CAPITULO III.- CONCLUSIONES.....	77
BIBLIOGRAFIA.....	78

I N T R O D U C C I O N

La posibilidad de utilizar oxígeno de alta pureza para acelerar los procesos de obtención de acero, fué mencionada por Bessemer hace 100 años, pero la dificultad para disponer de este elemento a bajo costo impidió su aprovechamiento hasta después de la segunda guerra mundial. Una vez obtenido el éxito en las primeras pruebas, la industria siderúrgica se ha revolucionado, desarrollándose nuevas técnicas y aumentando la velocidad en el proceso.

La obtención de acero en hornos Siemens Martín-Básico o por cualquier otro método, es un proceso de oxidación, y el uso del oxígeno es un factor muy importante ya que nos permite una mayor concentración de este elemento en el baño y nos hace posible descarburar más rápidamente.

Mi decisión por tomar este tema fué por tener más conocimientos en este tipo de hornos y por los avances que ha tenido el uso del oxígeno en este proceso, ya que en la actualidad los hornos eléctricos y convertidores B.O.F. hubieran hecho desaparecer este proceso si no es por la aplicación del oxígeno.

El objetivo fundamental que se persiguió con la aplicación del oxígeno en el proceso fué, un incremento de la producción ya que sin este elemento no hubiera sido posible llegar a niveles económicos de producción.

C A P I T U L O I

G E N E R A L I D A D E S

El proceso Siemens Martín-Básico sirve para obtener acero a partir de diversos materiales ferrosos al estado sólido y líquido, fundamentalmente -- chatarra de acero y arrabio. eliminando las impurezas de la carga por oxidación y por escorias de carácter químico básico. Esto hace que se considere -- como un proceso básico y oxidante.

El calor necesario para el calentamiento de la carga se obtiene quemando combustibles líquidos y gaseosos dentro del horno cuya flama está en contacto directo con la carga. El principio fundamental del funcionamiento -- del horno Siemens Martín es la recuperación del calor sensible de los gases -- producidos por la combustión y la oxidación del Carbono en el seno de la carga líquida para precalentar el aire necesario en la combustión, utilizándose cámaras de recuperación de calor.

Este proceso se caracteriza por su alta flexibilidad en lo que se refiere a componentes de la carga y tipos de acero que se obtienen; pero es relativamente lento y de baja eficiencia térmica.

↳ El empleo de oxígeno gaseoso por diferentes métodos de aplicación contribuye a acelerar el proceso. Utilizando quemadores acelera la fusión de la chatarra y cuando se inyecta a la carga fundida acelera la descarburación y el calentamiento. La enérgica oxidación del carbono (reacción exotérmica), y la agitación producida por ésta, son factores determinantes en la aceleración del proceso. 3

Para aumentar la producción en un taller en operación sin el empleo de oxígeno sería necesario construir nuevas unidades o ampliar la capacidad de --

las existentes, lo cual estaría limitado por razones de espacio y por el diseño mismo de los hornos.

En AHMSA, cuando se planeó el taller de Aceración se pensó en una meta de 200 000 ton. anuales de acero en lingotes. Posteriormente se fueron construyendo más hornos de los que originalmente se había considerado. Para 1962, cuando se inició el empleo de oxígeno, ya se tenían 7 hornos instalados: 3 de 125 ton. y 4 de 150 ton. con producción anual de 600 000 ton., equivalente al triple de lo que se había planeado.

La decisión de utilizar oxígeno hizo factible la construcción de un octavo horno diseñado para 220 ton. y la ampliación de cuatro hornos más a esta misma capacidad. Actualmente el taller de Aceración donde se desarrolló este trabajo cuenta con 8 unidades de operación, 3 de 130 ton. y 5 de 220 ton., todas equipadas para inyección de oxígeno, que producen 1 350 000 ton. anuales de acero, con una meta factible de 1 440 000 ton.

Para la producción del oxígeno necesario se cuenta actualmente con 3 plantas que producen 380 ton. diarias de oxígeno de 99,5% que se distribuye -- entre el taller Siemens-Martín y un taller de convertidores al oxígeno de reciente instalación. Para producir el arrabio necesario para ambos talleres se cuenta con 4 altos hornos con capacidad instalada para producir 4 400 ton. por día.

La operación de ambos talleres, Siemens-Martín y convertidores de oxígeno, ha permitido mayor flexibilidad en el aprovechamiento de los recursos y en la programación de diferentes tipos de acero. La operación de los convertidores depende de una disponibilidad mínima de 70% de arrabio mientras que los Siemens-Martín pueden operar con 100% de carga sólida y eficientemente, sin ne

cesidad de fierro gris, con 50%. La operación de los convertidores depende en un 100% de la disponibilidad de oxígeno, mientras que el Siemens-Martín puede operar sin oxígeno.

1.1.- ARREGLO GENERAL DEL TALLER.

El taller de Aceración consta de 3 naves principales; la de preparación de carga, la de operación de hornos y la de vaciado, orientadas de norte a sur. Cuenta además con una sección del edificio de la Laminadora en caliente, a un extremo de las fosas de calentamiento de lingotes para el desmoldeo y preparación de trenes lingoterós.

En lo que respecta a manejo de materiales el taller está dividido en -- dos secciones, en cada una de las cuales operan 4 hornos.

1.1.1.- Nave de preparación de carga.

En esta sección se tienen almacenados los diferentes tipos de chatarra de acero y fierro gris, el mineral de hierro (principalmente hematita) y la -- cal. Aquí se lleva a cabo la preparación de la carta en cajas de 0.75 m^3 . montadas sobre carritos con capacidad para 3 cajas cada uno. Los trenes de 8 carritos son trasladados a los hornos por locomotoras después de pesarlos. La carga de chatarra a las cajas se hace con electroimanes de $1.65 \text{ m } \emptyset$ y la de mineral de hierro y cal con palas tipo almeja.

Esta sección está equipada con 3 grúas puente de 15 ton., 2 vfas para - suministro de chatarra por ferrocarril, una plataforma de carga a nivel del pi - so de operación, 2 básculas electrónicas para 25 ton. y 4 locomotoras de 150 - HP.

1.1.2.- Nave de operación de hornos.

La sección sur cuenta con 3 hornos de 130 ton. y uno de 220 ton. y la norte con 4 de 220 ton.; cada sección equipada con 2 grúas cargadoras de 7.5 ton. de capacidad.

Para el manejo de arrabio líquido se cuenta con un mezclador de 400 ton. 3 ollas de 60 ton., una báscula para pesar el arrabio en cada extremo del edificio con el objeto de suministrar el arrabio a los hornos por ambos extremos y 3 grúas puente de 75/20 ton. que además sirven para el manejo de materiales a granel y equipo auxiliar. El arrabio llega a esta sección en ollas abiertas y en ollas termo tipo torpedo.

Para el almacenamiento de dolomita calcinada se cuenta con una instalación de tolvas con elevador de canchales en cada extremo del edificio.

En el centro de la nave se tiene una instalación de tolvas con dos básculas para almacenamiento y peso de ferroaleaciones, las cuales se transportan a los hornos en cajas de carga y en pequeñas artesas.

Se cuenta además con 3 máquinas revestidoras de dolomita para el revestimiento de hornos, en equipo para preparación y bombardeo de refractarios, -- dos tractores cargadores frontales para hacer los bancos de dolomita después de cargar y para manejo de fluorita, cascarilla de laminación y otros materiales y 2 elevadores de carga en cada extremo del edificio destinados principalmente para el manejo de ladrillo refractario con auxilio de tractores de horquillas.

Se cuenta también con un laboratorio equipado con aparatos Leco para de terminación rápida de carbono y azufre y un sistema de tubo neumático para --- enviar muestras al laboratorio central.

1.1.3.- Nave de vaciado.

Para el vaciado se cuenta con dos plataformas de vaciado, 17 ollas con capacidad para 140 y 240 ton. de acero, 2 grúas puente de 175/40 y 200/40 ton. y 2 de 265/50 ton., además de una grúa de 15 ton. para manejo de materiales.

En cada extremo del edificio hay instalaciones para reparación de ollas y para preparación de tapones.

El vaciado se hace en varios tamaños de moldes, éstos son: 63x63, 76x76, 76x112, 76x137 y 66x163 cm. de sección, todos de 208 cm. de altura, que forman 16 trenes de vaciado.

El desescoriado se hace por la puerta central de los hornos y la escoria cae en piletas a nivel de la fosa de vaciado. Para remover la escoria se cuenta con 3 tractores de 170 HP. La escoria sale de la fosa de vaciado en camiones de 35 ton. y se transporta a una instalación de separadores magnéticos donde se recupera el fierro arrastrado por la escoria.

Fuera del edificio se cuenta con un patio de vías para el reposo del -- acero en los moldes antes de pasar a la sección de desmoldeo.

1.1.4.- Sección de desmoldeo.

La operación de desmoldeo y preparación de trenes lingoteros se efectúa con 2 grúas puente de 200/25 ton. Se cuenta con una vía con espuela auxiliar para desmoldeo y carga de lingotes a las fosas de calentamiento y una vía para la preparación de los trenes lingoteros.

La operación en esta sección consiste en desmoldear, limpiar los moldes con cepillos de pedestal y sentarlos en el tren lingotero. La preparación de los moldes se complementa con limpieza manual y recubrimiento.

1.2.- DESCRIPCIÓN DEL HORNO Y SUS MODIFICACIONES EN DISEÑO PARA INYECCIÓN DE OXÍGENO.

Para entender mejor el diseño del horno Siemens-Martín es necesario analizar la función que cada una de sus partes desempeña, partiendo de los principios generales del proceso que establecen que éste es un horno de reverbero o de radiación cuya fuente externa de calor es la flama de combustibles quemados en contacto directo con la carga, con aire precalentado aprovechando el calor-sensible de los gases antes de ser expulsados a la atmósfera.

La sección principal del horno es aquella donde se deposita la carga, se funde y se afina y está formada en términos generales por un crisol, una cámara de combustión o laboratorio del horno, limitada por la bóveda, muros y -- puertas para efectuar la carga, y un sistema de combustión formado por los quemadores, puertas y gargantas.)

Las secciones auxiliares del Horno están formadas por las cámaras de recuperación de calor y precalentamiento de aire, las cámaras de escoria para la limpieza de los gases, y el sistema de extracción de gases a la atmósfera formando por ductos, chimeneas y ventiladores.

El horno se complementa con equipos e instalaciones auxiliares para su funcionamiento, tales como: tuberías para agua de enfriamiento de elementos metálicos expuestos al calor, tuberías de suministro de combustibles y vapor, precalentadores de combustibles líquidos, lanzas de oxígeno, malacates para mover las puertas, instrumentos y tableros de control.

1.2.1.- Crisol.

La base metálica del crisol que descansa sobre dos bases de concreto está construída con vigas I dispuestas en forma longitudinal sobre las que se co

locan planchas de acero de 2.54 cm. de espesor cuyo arreglo permite el enfriamiento por corriente natural de aire.

El crisol está formado por una plantilla de cromita de 2.5 cm. de espesor sobre la chapa de acero, dos capas de seguridad de 23 cm. de espesor de la drillo calcinado de magnesita con un mínimo de 90% de MgO construídas en forma de arco invertido y una capa de trabajo de 27 cm. de espesor de magnesita calcinada apisonada de 90% MgO. En el centro y a través del banco posterior se localiza el agujero de sangría de 15 cm. de diámetro de 1.50 m. de longitud.

Para aumentar la capacidad de los hornos de 150 a 220 ton. fué necesario desplazar las cabeceras del crisol hacia los extremos del horno y subir el nivel de derrame aumentando la profundidad de 83.8 a 96.5 cm.

Las medidas actuales de los crisoles son las siguientes:

Capacidad Horno	Longitud m	Ancho m	Profundidad m	Área m ²
130 ton.	13.4	4.25	0.77	57.0
220 ton.	16.2	4.70	0.96	76.0

Tabla de Medida de crisoles.

La profundidad del crisol y su área de trabajo son factores determinantes de la eficiencia del horno. A mayor área y menor profundidad, mayor es la eficiencia, debido a que se aumenta las áreas de calentamiento y reacción y se tienen una mejor transmisión de calor. Para una operación óptima, un horno de 220 ton. debería tener una profundidad de 70 cm.

1.2.2. Bóveda.

Antes de emplear oxígeno en el proceso las bóvedas se construyen con ladrillo ácido con 95% de SiO_2 , reforzadas en los arranques con ladrillo básico de cromomagnesita con arreglo tipo zebra.

Al introducir el empleo de oxígeno fué necesario substituir el ladrillo ácido totalmente por básico, ya que el primero no soporta las temperaturas alcanzadas durante la inyección. El ladrillo básico tiene un punto de fusión más alto que el ácido, mayor resistencia mecánica y mayor resistencia a la erosión. Estas propiedades se incrementan al aumentar el contenido de MgO , pero al mismo tiempo se hace menos resistente a los enfriamientos bruscos con los cuales sufre desgajamiento. El ladrillo básico es también más pesado que el ácido y tanto en bóvedas planas como en bóvedas de arco debe ser suspendidas; para este objeto el ladrillo tiene una oreja de lámina de acero inoxidable en el extremo superior.

Todas las bóvedas son de arco suspendido y apoyado en sus extremos en cajas enfriadas por agua y en placas de apoyo. En su construcción se utilizan 2 sistemas; el sistema de suspensión rígida, con el cual se tienen 4 hornos y un sistema moderno de suspensión controlada con el cual se tienen los otros 4.

El sistema de suspensión rígida consiste en vigas 1 colocadas longitudinalmente y soportadas por tubos sujetos a la estructura del horno. Entre las vigas 1 se colocan placas en forma transversal, apoyadas sobre la misma bóveda y dispuestas cada cuatro carreras de ladrillo. De estas placas se cuelga el ladrillo por medio de la oreja y un gancho de alambre. Los pasos que se siguen para construir este tipo de bóveda son: colocar cimbra de madera, colocar ladrillo, colocar herrajes de suspensión, colgar el ladrillo y quitar la cimbra. Pa-

ra permitir la expansión del refractario se dejan juntas de cartón equivalente a un 2.5% en sentido longitudinal y un 2% en sentido transversal. En la parte central y frente a las puertas 3 y 4 se colocan cajas enfriadas por agua con un espacio libre anular de 18 cm. \emptyset para introducir a través de ellas las lanzas para inyección de oxígeno.

El sistema de suspensión controlada consiste de arcos de solera compuestos de dos partes articuladas en el centro, colocados en forma transversal y suspendidos por resortes apoyados en la estructura del horno. Los arcos soportan soleras de 13 mm. de \emptyset que adoptan la misma forma de arco de la bóveda, de cada una de las cuales se cuelgan dos carreras o arcos de ladrillo. Para construir este tipo de bóveda no se requiere colocar cimbra, ya que la armazón de suspensión es fija y lo único que se repone son las varillas. Entre las ventajas de este tipo de suspensión sobre el rígido se tiene que la suspensión por resortes permite el movimiento libre de la bóveda durante los cambios de temperatura y a medida que el peso de la bóveda vá disminuyendo por el desgaste. Además, su construcción es más rápida y los parches en caliente se hacen con mayor facilidad.

Las bóvedas se construyen con ladrillo de cromomagnesita de liga química o liga directa con espesores de 380 a 228 mm. y contenidos de MgO de 40 a 70%.

1.2.3.- Muros frontales.

En el espacio comprendido entre puerta y puerta se construyen muros con una base de ladrillo calcinado de magnesita, de 90% MgO, para evitar ataque de la escoria, y con ladrillo de cromomagnesita de liga directa con forro de lámina y con 70% MgO en la parte superior, hasta rematar con el arranque de la bóveda. Su espesor es de 46 cm. en la base y 23 cm. en la parte superior.

Para darle solidez a los muros y evitar que se caigan, se colocan placas de acero entre cada carrera de ladrillos, soldadas exteriormente a una armazón de barras que se fijan a las columnas del horno.

1.2.4.- Muro posterior.

El muro posterior está construido sobre la parte superior del crisol rematando en el arranque posterior de la bóveda.

La base se construye con ladrillo calcinado de magnesita con 90% MgO y la parte superior con ladrillo de cromamagnesita de liga química con forro de lámina, con 40% MgO, fijado con placas y barras en la misma forma que los muros frontales. La base sufre fuerte desgaste por el ataque químico de la escoria, por lo que es necesario repararla después de cada colada con dolomita calcinada. Para facilitar el revestimiento, el muro debe tener una inclinación de 55 grados para conservar la parte superior del muro posterior, que sufre desgaste debido a las salpicaduras durante la inyección de oxígeno y a la erosión de los gases periódicamente debe revestirse bombardeando cromomagnesita.

1.2.5.- Puertas de carga.

Para cargar, trabajar la carga y reparar el horno, cada unidad cuenta con 5 puertas, con excepción de uno que tiene 7, que dejan un claro de 1.55 por 1.30 m. Las puertas están formadas por una caja de acero enfriada por agua y revestida interiormente con cromita plástica. En el centro, cada puerta dispone de un agujero circular de 15 cm. \emptyset por donde el hornero observa la carga, mide temperaturas, saca muestras o efectúa otras operaciones.

Con el empleo de oxígeno, especialmente en quemadores gas-oxígeno instalados a través de la bóveda, se aumenta la velocidad de fusión de la chatarra

permitiendo cargas de alto porcentaje de chatarra en tiempos muy cortos. Esto ha hecho que muchas plantas hayan aumentado el tamaño de las puertas para permitir la carga con cajas más grandes, cambiando incluso el sistema convencional de cajas, de tal forma que a un horno se le pueden cargar 250 ton. de chatarra en 15 minutos, mientras que por el método convencional se requerirían 3 a 4 horas, dependiendo de la densidad de la chatarra. Sin embargo, el aumento de tamaño de las puertas debe justificar el costo que implica la modificación del horno y el cambio completo del equipo disponible.

1.2.6.- Gargantas.

Se llama garganta el área libre que queda en cada extremo del hogar entre las cabeceras del crisol, bóveda y muros. El diseño y tamaño de las gargantas debe determinarse con la mayor precisión posible, ya que en ésta sección se efectúa la mezcla del aire con los combustibles para efectuar la combustión. Con este razonamiento, mientras menor es el área de sección de las gargantas, mayor eficiencia de combustión se tiene. Por otro lado, también constituyen la salida de los gases calientes del hogar, por lo cual, al reducir su área, se aumenta la dificultad por extraerlos.

Para emplear el oxígeno en la refinación, considerando que la producción de gases aumenta, fué necesario aumentar el área de las gargantas en un 50% para mantener una sobrepresión máxima en el hogar de 2 mm. de columna de agua. Por este aumento de área, cuando no se dispone de oxígeno la eficiencia del horno es inferior a la de hornos diseñados para no emplear oxígeno. Las áreas de sección de las gargantas son de 7.35 m^2 para hornos de 130 ton. y de 8.85 m^2 para los de 220 ton.

1.2.7.- Puertos.

Se localizan en los extremos del horno, inmediatamente después de las gargantas y constituyen la entrada al hogar del aire precalentado para la combustión y la salida de los gases calientes hacia las cámaras de escoria y están formados por cuatro paredes verticales construidas con ladrillo de cromomagnesita de 40% MgO, liga química y forro de lámina. Por su diseño especial la mayor parte del ladrillo de estos muros debe suspenderse con herrajes especiales, ya que no descansan sobre una base firme.

El diseño original de los hornos era de puerto doble con arco central de ladrillo ácido, pero al introducir el empleo de oxígeno hubo necesidad de eliminar el arco y hacer puertos sencillos para aumentar el área de sección con objeto de disminuir la velocidad de los gases y aumentar la capacidad de tiro. Con la modificación las áreas quedaron en 4.33 m^2 para los hornos de 130 ton. y de 6.68 m^2 para los de 220 ton., con una relación de áreas de garganta respecto a puerto de 1.70 y 1.34 respectivamente. La velocidad de los gases en los puertos es de 25 a 35 m/seg.

1.2.8.- Cámara de escoria.

Para evitar que la escoria y polvo que arrastran los gases a su paso por el hogar tapen los ductos de los regeneradores se hace necesario limpiarlos previamente. El sistema de limpieza de gases está formado por los puertos y por las cámaras de escoria que se localizan en la parte inferior de éstos. Los cambios bruscos de dirección y el aumento de volumen disponible en las cámaras de escoria disminuyen el poder de arrastre de los gases haciendo que las partículas arrastradas se precipiten.

Los muros que forman las cámaras de escoria están construidas con la--

ladrillo básico y ladrillo de arcilla refractaria, con muros falsos para facilitar la extracción de la escoria. El techo se construye con ladrillo básico suspendido, al igual que la garganta de salida de los gases a los regeneradores. El piso se cubre con una capa gruesa de dolomita cruda.

El arrastre de escoria y polvos aumenta considerablemente durante la inyección de oxígeno por la fuerte agitación provocada y por oxidación del hierro, por lo cual las cámaras de escoria se llenan más rápidamente que por el método convencional. Por esta razón, para inyectar oxígeno durante la refinación es necesario aumentar su capacidad y disponer de métodos más rápidos para la extracción de la escoria.

1.2.9.- Regeneradores.

El funcionamiento del horno Siemens-Martín se basa en el principio de la recuperación del calor sensible de los gases calientes producidos durante el proceso, para precalentar el aire necesario para la combustión, ya que con aire frío no podría alcanzarse la temperatura necesaria.

La recuperación del calor de los gases y el precalentamiento del aire se efectúa en regeneradores o cámaras de recuperación de calor. El horno cuenta con dos regeneradores, uno en cada extremo, entre la cámara de escoria y la chimenea, que operan alternativamente recuperando calor o precalentando el aire en combinación con la operación reversible de los quemadores. La reversión se controla por la temperatura de los regeneradores que se mide por pirómetros de radiación conectados a un aparato indicador, registrador. La diferencia de temperatura entre regeneradores no debe exceder de 100 C y el rango en que operen debe ser de 1100 a 1200 C. Para efectuar la reversión se accionan válvulas que cambian la alimentación de los combustibles de un quemador a otro

y se accionan compuertas para cambiar el sentido de circulación del aire de combustión y los gases calientes. Esta operación puede ser manual o controlarse automáticamente, ya sea estableciendo un rango de temperatura o un tiempo de operación de cada quemador. Este último puede variar entre 8 y 15 min.

Los regeneradores se construyen con un emparrillado de ladrillo de alúmina formando ductos verticales de sección cuadrada. El ladrillo que normalmente se usa es de 7.6 x 11.4 x 26.6 cm. (3" x 4 1/2" x 10"), con 38% de Al_2O_3 y 56.0% de SiO_2 , colocado siguiendo el sistema de chimenea, dejando una área libre de paso de 510 cm^2 por ducto. En la parte superior del regenerador se localiza una cámara formada por una bóveda de arco de ladrillo de alúmina cubierta con una capa de material aislante para evitar pérdidas de calor y por muros verticales de arcilla refractaria. En la parte inferior se localizan los conductos de gases sobre los cuales descansa el empilado de ladrillo.

Las características generales de los regeneradores se ilustran en el siguiente cuadro.

Horno	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Volúmen (m^3)	Superficie de calentamiento (m^2)	Área libre total (M^2)	Cantidad de piezas
130 TM	6.65	4.70	5.30	166	1780	15.9	41216
220 TM	7.00	5.20	5.67	206	2200	18.4	50758

Tabla de dimensiones de los regeneradores.

La limpieza de los gases en las cámaras de escoria no es completa las partículas más pequeñas continúan siendo arrastradas hacia los regeneradores, principalmente humos de óxido de hierro y polvo de cal que obstruyen los ductos y tienden a aglomerarse formando una costra que a veces es difícil de des-

prender.

Con la inyección de oxígeno la formación de humos de óxido de hierro - aumenta considerablemente, al mismo tiempo que también aumenta la velocidad - de los gases y su poder de arrastre, con lo cual los regeneradores tienden a - obstruirse con mayor rapidéz. Para evitar que esto suceda, los regeneradores - se limpian una o dos veces por semana con agua a 55.0 Kg/cm^2 de presión, por medio de una lanza con cabeza de espreas dispuestas en sentido horizontal y - en sentido vertical orientadas hacia abajo. Las partículas son desprendidas y arrastradas por el agua y depositadas en los ductos de gases.

Al introducir el empleo del oxígeno fué necesario incrementar el área - de paso de 324 cm^2 a 510 cm^2 por ducto y construir las 17 carreras superiores con el sistema de semichimenea para dejar registros para efectuar la limpieza.

Durante la reparación general del horno únicamente se cambian de 17 a - 20 carreras de ladrillo y solo se hace cambio total cuando el ladrillo se ha - vitrificado en un 30%, ya que esto disminuye su capacidad de absorción de ca - lor y los polvos se adhieren a su superficie más fácilmente. Un cambio total - de ladrillo debe hacerse normalmente cada 2000 coladas.

1.2.10.- Conducto de Gases.

En la parte inferior de los regeneradores se localizan tres ductos con una sección de 1.33 m. de ancho por 1.34 m. altura de los hornos de 130 ton.- y 1.33 m. ancho x 1.78 m. altura en los de 220 ton, que desembocan en un con - ducto general por la cual llegan los gases a la chimenea o al aire de los re - generadores, según el sentido de la circulación.

Las dimensiones de los ductos, principalmente de altura, tienen gran - importancia cuando se inyecta oxígeno. La razón estriba en que en esos ductos

se deposita gran cantidad de polvos arrastrados por los gases o por el agua al limpiar los regeneradores, que pueden obstruir el flujo si no se limpian oportunamente y que hacen más crítica la operación mientras menor es su área libre.

Al irse llenando los ductos con polvo, baja la capacidad de tiro del sistema de extracción de gases, aumentando la sobrepresión dentro del horno de 2 a 5 mm. de columna de agua, medida en la parte central de la bóveda del horno. Esto contribuye a dañar el refractario de bóveda y muros por penetración de óxido de fierro en el ladrillo, ataque químico de CO por combustión incompleta y calentamiento mayor por contacto directo con la flama. En estas condiciones la eficiencia térmica disminuye por pérdidas de calor y mala combustión.

Al iniciarse la inyección de oxígeno fué necesario la altura de los ductos en algunos hornos, a costa de disminuir la capacidad de los regeneradores, e iniciar una serie de pruebas tendientes a mantenerlos limpios durante la operación.

La limpieza en operación se efectúa con aire de 4.0 Kg/cm^2 de presión con tubo de 2.54 cm. de ϕ en operación manual. Los polvos, al ser removidos por el aire son arrastrados por los gases a la atmósfera. La primera limpieza se efectúa a las 100 coladas y después se repite cada 30 coladas. Es conveniente que la limpieza se haga con mayor frecuencia y en forma automática o semi-automática o semiautomática, instalando un sistema de tubos con espreas para inyectar vapor de 14 Kg/cm^2 de presión.

1.2.11.- Chimeneas.

Las chimeneas constituyen el sistema de extracción de gases a la atmósfera y la inyección de aire en combustión al horno. Cada horno cuenta con dos chimeneas de tiro inducido, sistema Isley, de 1.68 m. de diámetro interior y -

36.0 m. de altura total en los hornos de 130 ton. y 2.6 m. diámetro interior - y 32.5 m. de altura total en los de 220 ton., con coraza de acero revestidas - interiormente con ladrillo de arcilla, que operan alternadamente para inyectar aire para la combustión o para extraer los gases. Para esto están equipadas con una compuerta colocada en la sección de menor diámetro, accionada por un cilindro neumático que se cierra para que el aire fluya hacia el horno o se abre para permitir la salida de los gases a la atmósfera.

1.2.12.- Ventiladores de combustión y tiro.

Cada chimenea está equipada con un ventilador con capacidad para suministrar hasta $40\ 000\ m^3$ por hora de aire para la combustión o para inducir el tiro, para operar con una presión en el horno de 1 mm. de columna de agua. para controlar el gasto de aire para una u otra función cada ventilador cuenta con un sistema de compuertas accionadas por un pistón neumático que regulan la succión, controladas desde el tablero de control. Los aparatos que controlan el aire de combustión y el tiro se conectan con uno u otro ventilador por una válvula de tres vías.

El sistema Isley consiste en un estrechamiento en la chimenea en forma de Venturi y un cono centrado que inyecta el aire suministrado por el ventilador con el cual se conecta por un ducto metálico. El diámetro del cono y su colocación dentro de la chimenea dependen de la presión, temperatura, volumen y velocidad de gases y de las dimensiones de la chimenea.

Al inyectar oxígeno es muy importante determinar correctamente la capacidad de los ventiladores para inyectar el aire y especialmente para producir el tiro necesario. El incremento de gases producidos durante la inyección puede ser limitativo de la velocidad de producción si no se dispone de tiro sufi-

ciente.

1.2.13.- Quemadores.

En cada extremo el horno cuenta con un quemador tipo artillería dentro de una caja metálica enfriada por agua, colocada a través de la pared lateral y por el que se inyectan normalmente aceites combustibles o brea, y gas natural como agente atomizador. Los hornos están equipados para operar con vapor de 14 Kg/cm^2 como agente atomizador cuando baja la disponibilidad del gas natural.

1.2.14.- Sistema de enfriamiento.

Los elementos metálicos del horno que están en contacto directo con el calor, marcos, puertas, canales de apoyo de la bóveda y quemadores se enfrían con agua que circula a una presión de 1.6 Kg/cm^2 , con una temperatura de 30 C y salida de 50 C , con una dureza de 400 ppm referida a Ca CO_3 y 900 ppm de sólidos totales, con un PH de 7.3 . El agua se enfría en una torre de enfriamiento.

Se considera que el horno requiere para su enfriamiento 10 m^3 de agua por ton. de acero. Esto representa un serio problema para la planta debido a que no se dispone del agua suficiente para satisfacer todas las necesidades, además de que el agua que se saca por pozos no siempre es de buena calidad. Con la idea de resolver este problema se tiene instalado en un horno un sistema de enfriamiento en circuito cerrado, con condensadores de vapor, para enfriar los marcos de diseño especial que también sirven de apoyo al arranque frontal de la bóveda. Este sistema no requiere de bombas para recircular el agua, ésta circula debido al vapor que se forma durante el enfriamiento de las

cajas metálicas.

Las ventajas que representa el sistema de recirculación en circuito cerrado son: que se ahorra agua, que se puede utilizar agua tratada con baja pureza y con un PH constante, o que el enfriamiento es más efectivo por operar a mayor presión y con mayor volumen de agua.

1.2.15.- Equipo de control.

Frente al horno se cuenta con un tablero de control y por medio del cual se operan las puertas, los quemadores y las lanzas de oxígeno, se controla el - gasto de combustibles y de oxígeno, se efectúa la inversión de quemadores, se - controla la temperatura de regeneradores, la presión del horno, el consumo de - aire de combustión y las presiones o temperaturas de combustible y aire comprimido.

C A P I T U L O I I

O P E R A C I O N

2.1.- DESCRIPCION DEL PROCESO.

↳ Por lo general, todo proceso de obtención de acero consiste en fundir la carga, eliminar sus impurezas, elevar su temperatura a un rango apropiado, alelarla con los elementos especificados y vaciarla en moldes apropiados según el uso posterior que se le vaya a dar.]

El Siemens-Martín Básico es un proceso de oxidación en el cual la refinación se efectúa con escorias de carácter químico básico referido principalmente a su contenido de CaO . Esto se debe a que las materias primas utilizadas tienen un alto contenido de fósforo y azufre. Se caracteriza por una baja eficiencia térmica y por requerir carbono como componente de la carga para favorecer el calentamiento y la eliminación de impurezas, por agitación que provoca en la carga fundida al oxidarse y por el desprendimiento de calor que su oxidación origina.

↳ La carga metálica consiste de diferentes tipos de chatarra de acero de bajo contenido de carbono y de materiales ferrosos con alto contenido de carbono, principalmente en forma de arrabio líquido, arrabio sólido o chatarra de fierro gris. Cuando no se dispone de estos últimos, es necesario cargar coque para proporcionar al carbono necesario a la carga.]

↳ Como oxidantes se utiliza minerales oxidados de fierro en forma hematita o magnetita y cascarilla de laminación. Como escorificantes y para eliminar fósforo y azufre se utiliza cal o caliza y como fluidificante de la escoria se utiliza fluorita.]

↳ En términos generales el proceso puede dividirse en los pasos siguien--

tes:

- a.- Preparación del horno
- b.- Carga de chatarra
- c.- Calentamiento de la chatarra
- d.- Adición de arrabio
- e.- Fusión y refinación
- f.- Desoxidación, vaciado del horno aleación
- g.- Vaciado en moldes
- h.- Reposo o solidificación en moldes
- i.- Desmoldeo

Preparación de horno.

Después de vaciar el horno se reparan las zonas desgastadas del crisol - por la acción química de la escoria, principalmente la línea de escoria con dolmita calcinada granulada de 32% MgO, por medio de una máquina lanzadora. Se drenan los charcos de acero y escoria que hayan quedado en el fondo del crisol y - se repara éste con dolmita cruda, dolmita calcinada o magnesia calcinada, según las condiciones en que se encuentre.

El agujero de sangría se limpia de escoria y acero y se tapa con dolmita calcinada. La limpieza se efectúa por soplado con aire ú oxígeno. En caso necesario el agujero se repara para reducir su diámetro a 150 mm.

En caso de quedar pozos en el crisol se drenan éstos, se llenan con magnesita calcinada en polvo, ya sea seca o en lechada, se calienta el horno a - - 1700 C, se tapa el agujero de sangría y se procede a iniciar la carga.

Carga.-

El proceso Siemens-Martin es muy flexible en cuanto a los componentes de

la carga; ésta puede ser totalmente sólida o contener hasta un 80% de arrabio-líquido.

Con el uso de oxígeno por diferentes métodos de inyección la flexibilidad es mayor. En el primer caso la velocidad de fusión se favorece con quemadores gas-oxígeno colocados a través de la bóveda, y en el segundo la velocidad de descarbonación se aumenta por inyección de oxígeno a través de lanzas.

Es lógico que mientras mayor sea el contenido de arrabio en la carga mayor será la productividad, ya que éste se encuentra al estado líquido y a una temperatura aproximada de 1300 C, mientras que la chatarra de acero o fierro gris requiere ser fundida. Además, la carga de arrabio al horno es más rápida y fácil de efectuar que la carga de materiales sólidos.

No obstante el razonamiento anterior hay un punto de inflexión en el cual al seguir aumentando la proporción de arrabio la productividad del horno disminuye. Esto se debe a que el aumento de arrabio obliga a aumentar la carga de mineral de fierro, lo cual está limitado por el área del crisol. De no tener área suficiente las capas de mineral son muy gruesas, dificultándose el calentamiento del mismo; esto origina congelamiento del arrabio durante la adición y reacciones retardadas y violentas durante el afino. Por el método convencional sin uso de oxígeno, la proporción máxima de arrabio se considera en un 65%, mientras que utilizando oxígeno puede aumentarse hasta un 80%.

Dependiendo de los tipos de inyección de oxígeno que se utilicen, las cargas pueden estar compuestas en la forma siguiente:

100% chatarra + coque

Chatarra + fierro gris + coque

Chatarra + fierro gris

Chatarra + fierro gris + arrabio ✓

Chatarra + arrabio ✓

Chatarra + arrabio + mineral de fierro ✓

a.- Bases para el cálculo de carga.

Para el cálculo teórico de una carga se requiere hacer un balance estequiométrico y un balance térmico, considerando los fenómenos fisicoquímicos que encierra el proceso y las características propias del horno, materiales de carga, ^{poter} capacidad calorífica de los combustibles características de la flama, - pérdidas de calor, etc. Una vez puestas en operación las unidades, las cargas se calculan en función de la experiencia adquirida con cargas similares, efectuando correcciones en función de las variaciones en el análisis químico de la carga, especialmente en contenido de silicio en el arrabio que es el de mayor variación y que en términos generales es también indicativo de la temperatura del arrabio.

Cualesquiera que sea el tipo de carga, ésta se calcula en función del carbono de fusión que se requiera, entendiéndose éste como el contenido de carbono en la carga cuando ésta se encuentra totalmente fundida. El carbono de fusión debe ser tal que permita refinar la carga con buena temperatura, pudiendo hacer una o más adiciones de mineral de fierro para agitar fuertemente la carga para eliminar nitrógeno e hidrógeno absorbidos por la carga durante el proceso y provocar mayor contacto entre escoria y acero para eliminar impurezas.- El carbono de fusión para una adición de mineral de fierro equivalente a un 2.0% de carga metálica es aproximadamente 0.80% arriba del carbono residual o de colado.

Considerando que este es un proceso de oxidación, las correcciones de -

cargas y cálculos de cargas de diferente composición se hacen por balance estequiométrico de elementos oxidantes y reductores disponibles para la carga. El silicio, manganeso y fósforo contenidos en la carga se refieren a contenidos de carbono de acuerdo con su capacidad desoxidante en relación con la capacidad desoxidante del carbono. A la suma de todos los elementos oxidables referidos al carbono se llama carbono equivalente.

Elemento	Carbono equivalente Kg C por Kg elemento	Oxígeno requerido Kg. O ₂ por Kg. de elemento
Silicio	0.856	1.140
Manganeso	0.219	0.291
Fósforo	0.969	1.291
Carbono	1.000	1.332

Tabla.- Valores de carbono equivalente.

La carga de equilibrio, a partir de la cual se calculan otras cargas, es la que compone exclusivamente de chatarra y arrabio. Si se disminuye el arrabio, para conservar el carbono equivalente de carga es necesario cargar fierro gris o coque y si se aumenta, es necesario cargar mineral de fierro para oxidar el exceso de carbono equivalente mantener el equilibrio. Con el uso del oxígeno la carga de equilibrio es aproximadamente 50-50.

Puesto que puede haber variaciones en el contenido de silicio en el arrabio de una colada a otra o de un alto horno a otro, el operador tiene que estar haciendo ajuste para cada nueva carga observando el comportamiento de las anteriores.

b.- Rendimiento de carga.

Para el cálculo del tonelaje por cargas debe considerarse el rendimiento de carga, o dicho de otra forma la merma entre el tonelaje cargado y el que se obtiene al calor. Esta merma se debe a la pérdida de impurezas contenidas en la carga y a la pérdida de hierro por oxidación o por arrastre de la escoria. De los componentes de la carga de arrabio es el que contiene más impurezas, por lo cual, al aumentar el porcentaje de éste el rendimiento disminuye.

Con el uso de oxígeno se pierde más hierro por oxidación y los rendimientos bajan de 1 a 2% respecto al método convencional, Estos, para diferentes tipos de carga, son los siguientes:

Tipo de carga	Rendimiento de carga en %
Chatarra + coque	90 - 92
Chatarra + hierro gris	88 - 90
Chatarra + arrabio (50-50)	86 - 88
Chatarra + arrabio + mineral	84 - 86

Tabla.- Rendimiento de carga.

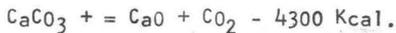
c.- Carga de cal o caliza.

Puesto que las materias primas de que se dispone tienen un alto contenido de fósforo y azufre, es necesario trabajar con escorias básicas. Aún cuando las escorias contienen MgO que es un compuesto básico, por lo general la basicidad se determina por la relación en peso entre el contenido de CaO y los contenidos de SiO_2 y P_2O_5 en la escoria; dicha relación, expresada en la ecuación siguiente, debe ser de 2.5 a 3.

$$\text{Basicidad} = \frac{CaO}{P_2O_5 + SiO_2} = 2.5 \text{ a } 3$$

Las necesidades de cal o caliza deben calcularse con la ecuación anterior considerando los contenidos de silicio y fósforo en las materias primas utilizadas, referidos a SiO_2 y P_2O_5 , y el contenido de estos compuestos en la escoria en el momento en que el CaO entra a formar parte de ella.

En la práctica convencional y con porcentaje de arrabio en la carga superiores al 40%, el uso de caliza es general. La caliza proporciona CaO al calcinarse dentro del horno.



el CO_2 agita la carga y elimina carbono y el CaO atravieza toda la carga metálica reaccionando con las impurezas.

Por su precio y su efectividad normalmente se prefiere el uso de caliza para obtener el CaO necesario; pero debe tenerse en cuenta que para calcinar dentro del horno se requiere de suficiente área de crisol, pues en crisoles angostos y profundos las capas de caliza son muy gruesas y su calcinación muy lenta, lo cual provoca levantamiento de cal retardadas, enfriamientos de la carga, reacciones violentas y demoras en el afino.

Con la inyección de oxígeno en los hornos aquí referidos se ha obtenido mayor productividad operando sin cal ni caliza en la carga, agregando cal en la primera etapa de la refinación, cuando la carga está totalmente fundida y cambiando las adiciones de cal adiciones de mineral para disolverla en la agitación. El incremento de oxidación en la escoria con la inyección de oxígeno favorece también la disolución de la cal. Por otro lado, como la adición se inicia hasta después del periodo de fusión y del primer desescoriado, en el cual se elimina cuando menos un 60% del SiO_2 formando por la oxidación casi completa del silicio, las necesidades de cal se reduce a un 3%, referido a --

carga metálica.

d.- Tipo de chatarra.

Aproximadamente un 80% de la chatarra utilizada se genera dentro de la planta, con un alto grado de pureza y preparada en tamaño apropiado para facilitar la carga. El resto se adquiere en forma de pacas o pedacera. El 44% de la chatarra es gruesa, el 34% es liviana y el 22% pacas.

Especificación para Análisis de Arrabio.

Elemento	%	Elemento	%
Fe	94.0	Mn	0.10 - 0.50
C	3.80 - 4.25	P	0.50 - 0.70
Si	0.60 - 1.20	S	0.030- 0.070

Lo más conveniente para la operación es contar con arrabio de análisis constante, dentro de ciertas especificaciones, y con un contenido mínimo de fósforo y azufre; pero debido a variaciones en las materias primas disponibles, no siempre es posible tener ni la calidad ni la cantidad deseadas, siendo necesario adoptar prácticas de operación según el arrabio de que se disponga.

e.- Operación de carga.

Una vez tapado el horno se inicia la carga con una capa de placa delgada sobre el crisol para proteger a éste de golpes de chatarra pesada que puedan ocasionar pozos. Sobre la placa delgada se carga el mineral de fierro distribuido de tal forma que la máxima cantidad, queda abajo de las lanzas de oxígeno por ser las zonas más calientes, lo que favorecerá la reacción. En la

puerta central no se carga mineral para evitar que sus reacciones provoquen derrames de acero por el banco de desescoriado. Cuando llega a usarse caliza, ésta se carga antes que el mineral distribuyéndola uniformemente. Sobre el mineral se carga el resto de placa delgada y después, en capas sucesivas, el recorte de palanquillas, lingotes, recorte de planchón, chatarra de fosa y pacas.

Sin el uso de oxígeno toda la carga debe distribuirse lo más uniformemente posible con el objeto de tener buena distribución de la flama y que ésta cubra el máximo de carga; pero con el uso de oxígeno esta condición varía según el método de inyección que se utilice. Cuando se tiene oxígeno exclusivamente por lanzas, algunas prácticas establecen iniciar la inyección 15 minutos antes de la adición de arrabio para favorecer la fusión y aumentar el contenido de FeO en la carga, por lo que, con esta práctica se busca acumular la mayor cantidad de chatarra o la de mayor densidad abajo de las lanzas.

Una vez terminada la carga se construyen bancos de dolomita en todas las puertas, dejando el de la puerta central más bajo, permitir y controlar el desescoriado.

Calentamiento y adición de arrabio.

La temperatura del horno, la de los regeneradores, y la temperatura y grado de oxidación de la carga, son factores que determinan el momento apropiado para hacer la adición de arrabio. El objetivo es evitar la solidificación del arrabio al entrar en contacto con carga fría y sus impurezas reaccionan fuertemente con el óxido de fierro de tal manera que tengan buen derrame de escoria y puedan salir del horno en esta forma los óxidos ácidos SiO_2 y P_2O_5 , para reducir el consumo de cal y el volumen de escoria. Con esto se acelera el afinado de la carga.

Las condiciones óptimas se tienen cuando la bóveda alcanza los 1700 C - los regeneradores están sobre los 1200 C y sobre el crisol hay charcos de hierro fundido y oxidado, observándose la chatarra con temperatura uniforme. Cuando la chatarra se funde en exceso se producen reacciones violentas con pérdidas de hierro y derrames de escoria por todas las puertas; la escoria se hace espumosa, reflejando el calor de la flama hacia la bóveda, y el rendimiento metálico disminuye debido a la oxidación de la chatarra.

Durante la carga y hasta la adición del arrabio debe suministrarse al horno, por todos los medios posibles y en la forma más eficiente, el máximo de calor sin causar daños al refractario, ya que la carga se enfría y además no se producen reacciones exotérmicas y las pérdidas de calor son altas por estar abriendo las puertas continuamente para cargar. Con alto porcentaje de chatarra en la carga del horno, la velocidad de carga depende de la velocidad de fusión para evitar demoras por llenarse el horno. La rapidéz con que puede agregarse el arrabio al horno depende de la velocidad con que se logran las condiciones óptimas y ésto a su vez, de la capacidad de calentamiento. Esta condición se requiere independientemente del porcentaje de chatarra en la carga, -- aún cuando es evidente que mientras menor es éste, más rápido se pueden alcanzar las condiciones óptimas. Con porcentajes de arrabio mayores de 70% el uso de quemadores oxigás no se justifica, siendo más conveniente aprovechar el oxígeno para acelerar la fusión y refinación una vez que se ha agregado el arrabio.

La adición de arrabio se efectúa por medio de una canal colocada a través de una de las puertas extremas del horno. Para altos porcentajes de arrabio esta operación puede constituir un cuello de botella para la operación si-

no se cuenta con suficiente equipo o con un método apropiado para transportar el arrabio al horno. Es conveniente contar con vías de ferrocarril en el piso de operación para transportar el arrabio en las ollas sobre carros hasta el horno, utilizando las grúas únicamente para hacer la adición, evitando el tránsito y las interferencias a lo largo de todo el taller. En este caso la adición puede hacerse con dos grúas simultáneamente. Cuando no se dispone de espacio suficiente para el tránsito de carros de ferrocarril y se tienen ocho hornos o más en línea, es necesario programar correctamente la operación para evitar simultaneidad de necesidades de adición y coordinar los movimientos de las grúas para evitar interferencias.

Con inyección de oxígeno por lanzas ésta puede iniciarse antes de iniciar la adición de arrabio, después de la primera olla o terminando la adición, dependiendo de la disponibilidad de oxígeno. Durante la adición es conveniente mantener las lanzas en alto, lo suficiente para evitar que se les pegue acero debido a las reacciones violentas. Debe mantenerse el mismo combustible utilizando en carga y calentamiento hasta después de la primera adición o cuando las tres cuartas partes de la carga están cubiertas por el baño.

2.2.- AFINO.

2.2.1.- Generalidades.

La mayor de las impurezas contenidas en la carga en el proceso Siemens-Martín básico se eliminan por oxidación. Los óxidos formados ácidos, básicos o anfóteros reaccionan entre sí formando sales, que junto con óxidos libres y algunos sulfuros componen la escoria. Para eliminar azufre y fósforo es necesario que la escoria contenga CaO libre suficiente para darle carácter químicamente básico donde la relación en peso entre óxidos básicos y óxidos ácidos, es supe

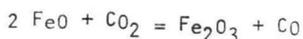
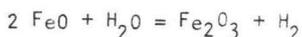
rior a 2.3.

La velocidad del proceso depende esencialmente de la velocidad con las reacciones de oxidación se efectúan y esto a su vez depende de la velocidad -- con que el oxígeno requerido llega a la carga metálica para reaccionar con las impurezas. La reacción de oxidación más importantes es la del carbono, porque el CO producido agita la carga al salir a la atmósfera y ésta agitación acelera grandemente la difusión del oxígeno y la transmisión del calor. Sin este fenómeno, sería prácticamente imposible llevar a cabo el proceso.

Las fuentes de oxígeno en el proceso pueden ser: el exceso de aire inyectado para la combustión, óxido de fierro mineral cargado al horno o agregado durante el afino, caliza cargada al horno para producir la cal necesaria y oxígeno puro inyectado a través de lanzas. En todos los casos el oxígeno penetra en la carga por difusión siendo la más lenta la del que proviene del aire en exceso y la más rápida la del oxígeno puro inyectado. En este último caso - una pequeña parte del oxígeno gaseoso reacciona directamente con el carbono, - pero la mayor parte reacciona primero con el fierro produciendo una alta concentración de óxido de fierro el cual reacciona posteriormente con el carbono y - otra impureza.

La difusión del oxígeno conteniendo en la fase gaseosa, ya sea libre o combinado con los combustibles, puede explicarse en los pasos siguientes:

1.- El oxígeno de la fase gaseosa llega a la interfase gas-escoria y -- reacciona con el FeO formando Fe₂O₃.



2.- El Fe_2O_3 se distribuye en toda la escoria, tanto por la agitación producida por el CO como por difusión, teniendo a mantener una concentración uniforme. Sin la agitación que tanto se ha mencionado, el proceso de difusión de Fe_2O_3 sería sumamente lento.

3.- El Fe_2O_3 llega a la interfase escoria-metal y reacciona con el hierro formando FeO .



4.- Como lo establece la ley de distribución de Nerst el FeO tiende a distribuirse entre escoria y acero de acuerdo con una coeficiente de partición que depende de las concentraciones de ambos líquidos no miscibles y que se expresa por la ecuación.

$$L_{\text{FeO}} = \frac{(\text{FeO})}{[\text{FeO}]} \quad \text{donde}$$

L_{FeO} = Coeficiente de partición de FeO

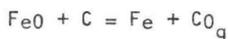
(FeO) = Concentración de FeO en la escoria

$[\text{FeO}]$ = Concentración de FeO en el acero

El FeO que permanece en la escoria continúa participando en el transporte de oxígeno, mientras que el que pasa al metal produce las reacciones de oxidación.

2.2.2.- Oxidación del carbono.

La velocidad del proceso depende de la velocidad de oxidación del carbono. De acuerdo con la ley de acción de masas la velocidad de reacción.



puede expresarse por la ecuación

$$V_c = K_1 [\text{FeO}] [\text{C}] - K_2 [\text{Fe}] [\text{CO}]$$

donde K_1 y K_2 son las constantes de velocidad de las reacciones en ambos sentidos y V_0 es la velocidad de reacción con el carbono.

Cuando se alcanza el equilibrio: $V_0 = 0$, y por lo tanto

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{[Fe] [CO]}{[FeO] [C]} = \frac{P_{CO}}{[FeO] [C]}$$

Donde P_{CO} = presión parcial del CO .

Puesto que uno de los productos de la reacción el CO es removido de la zona de reacción, no puede efectuarse en sentido reversible, es decir, que la velocidad de la reacción en sentido contrario es igual a cero, por lo que:

$$V_c = K_1 [FeO] [C]$$

lo que indica que la velocidad de oxidación del carbono es proporcional a las concentraciones de FeO y C disueltos en el baño metálico.

La concentración de oxígeno en el baño metálico depende de la concentración de carbono estableciéndose el equilibrio cuando

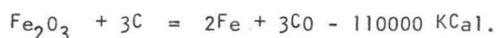
$$K = \frac{[C] [O]}{[FeO]} = 0.002 \quad \text{para } T = 1600 \text{ } ^\circ\text{C}$$

si la concentración de oxígeno correspondiera a las condiciones de equilibrio establecidas por la ecuación anterior, la reacción no se llevaría a cabo. De esto se desprende que la velocidad de reacción depende de la velocidad con la que se incrementa la concentración de oxígeno sobre la correspondiente a condiciones de equilibrio. Este razonamiento aparentemente sencillo es importante para determinar los medios necesarios para acelerar el proceso y para entender, especialmente, la influencia que sobre el mismo tiene la inyección de oxígeno puro.

El aumento de la concentración en el baño de oxígeno por mineral de hierro puede requerirse para establecer el balance estequiométrico de la carga, en cuyo caso se carga junto con la chatarra; o para controlar el conteni-

do de carbono con relación a la temperatura, en cuyo caso se agrega durante el afino, en porciones de una o dos toneladas. En este último caso el mineral reacciona con el carbono en la interfase escoria-acero produciendo una agitación violenta que favorece la expulsión a la atmósfera de nitrógeno o Hidrógeno contenidos en el baño, favorece la limpieza del baño metálico y provoca mayor contacto entre escoria y acero.

Para poder hacer adiciones de mineral se requiere previamente aumentar la temperatura de la carga, ya que la reacción con el carbono es fuertemente endotérmica por el calor que absorbe para disolverse.



cuando se carga caliza al horno ésta se calcina produciendo CO_2 .

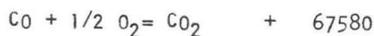


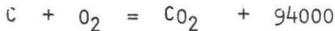
el $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$

y el CO agita la carga favoreciendo la transmisión del calor; no obstante como las reacciones son endotérmicas, durante el levantamiento de la caliza la carga puede enfriarse.

A diferencia de la decarburación lenta producida por difusión del oxígeno de la fase gaseosa al baño metálico, o la debida a las reacciones endotérmicas con mineral de hierro o caliza, la decarburación con inyección de oxígeno puro es considerable más rápida y además fuertemente exotérmica, como lo es también oxidación del hierro.

KCal/Kg Mol.





Las ventajas que representa la inyección de oxígeno puro sobre los --- otros medios de suministro de oxígeno pueden resumirse en lo siguiente:

Aumenta la velocidad de calentamiento

Aumenta la velocidad de decarburación

Aumenta la agitación de la carga, favoreciendo el contacto entre escoria y metal.

Favorece la disolución de cal y la escoria, obteniéndose escoria más - caliente, más fluidas y más reactivas.

2.2.3.- Oxidación y eliminación del silicio.

Por su alta afinidad por el oxígeno el silicio se oxida antes que las - otras impurezas presentes en la carga. La reacción se efectúa en el momento - en que el arrabio entra en contacto con la escoria formando por chatarra oxi- dada.

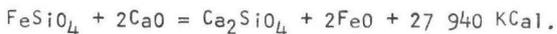


La sílice formada se combina con el FeO para formar



Puesto que el proceso básico requiere CaO libre para eliminar fósforo- azufre, es necesario agregar cal suficiente para convertir todo el Fe_2SiO_4 a- Ca_2SiO_4 ya que el CaO es el óxido básico de mayor afinidad por el SiO_2 .

Al disolver la cal en la escoria, ya que sea por calcinación de la ca- liza o porque se agregue en forma de cal, se efectúa la reacción



Por ser muy estable el Ca_2SiO_4 no se descompone.

2.2.4.- Oxidación y reducción del manganeso.

La oxidación del manganeso se efectúa de acuerdo con la reacción



La cual alcanza el equilibrio fácilmente iniciándose entonces la reducción de MnO, ya sea por reacción directa con el carbono o con el Fe de acuerdo con las reacciones.



La reacción directa entre el carbono y el MnO de la escoria se favorece con el incremento de temperatura, con el aumento de concentración de MnO en la escoria y carbono en el metal y con una disminución en la concentración de FeO en la escoria.

Sería conveniente mantener alta la concentración de manganeso en el baño evitando su oxidación o provocando la reducción del MnO para ahorrar manganeso en la elección final, pero todos los factores que favorecen ésto, dificultan la eliminación de fósforo. Una forma de ahorro ha sido disminuir su contenido en el arrabio de 1.50 a 0.20%.

2.2.5.- Eliminación del fósforo.

El fósforo en el acero causa fragilidad en frío y reduce sus propiedades mecánicas, especialmente su resistencia al impacto. En algunos casos se alea con el acero a propósito para aprovechar los efectos que causa como sucede con el acero de corte fácil.

En el metal fundido, el fósforo se encuentra tanto en forma elemental -

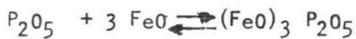
como en forma de Fe_3P oxidándose según la reacción



En un proceso ácido no es posible llevar el fósforo del metal a la escoria debido a que el P_2O_5 tiene menor afinidad química por los óxidos básicos— que el SiO_2 , siendo fácilmente reducible por carbono, magnesio, silicio y fierro y regresando al baño metálico.

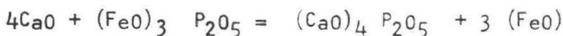
En el proceso básico, el P_2O_5 no se encuentra al estado libre por ser un compuesto inestable que se reduce con facilidad altas temperaturas. El efecto de los óxidos básicos de la escoria en la eliminación del fósforo va en razón directa con su afinidad por el P_2O_5 y su concentración en la escoria, --- siendo dicha afinidad en orden ascendente; MnO , FeO , MgO y CaO .

Debido a que en el primer período de afino, durante la fusión de carga, la escoria contiene una alta concentración de FeO , se efectúa la reacción siguiente:



Para evitar la reversión del fósforo al metal es necesario fijar el P_2O_5 en un compuesto más estable como lo es el $\text{Ca}_4 \text{P}_2\text{O}_9$, para obtener éste compuesto y evitar su descomposición es necesario que la escoria contenga suficiente CaO libre, es decir, que tenga la basicidad correcta.

En estas condiciones se efectúa la siguiente reacción:



Las reacciones de desfosforación pueden resumirse en la forma siguiente:



Para evitar reversiones de fósforo y alto consumo de cal es necesario provocar un buen desescoriado durante la adición del arrabio y el período de fusión tanto para eliminar SiO_2 como para eliminar $(\text{FeO})_3$. P205 cuando el contenido de óxidos en la escoria es alto.

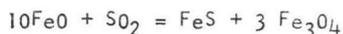
Puesto que las reacciones con el fósforo se efectúan con alto desprendimiento de calor, estas se efectúan a temperaturas relativamente bajas durante el período de fusión.

De lo anterior puede concluirse que la eliminación del fósforo se favorece con el incremento de oxidación y basicidad de la escoria. La reversión se favorece cuando la escoria no está suficientemente básica y oxidada cuando se incrementa el contenido de SiO_2 ya sea por adiciones de mineral, por desoxidación con FeSi o, por desgaste del refractario de las ollas, y cuando la carga se sobrecalienta con un contenido de carbono alto.

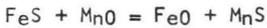
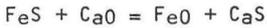
2.2.6.- Desulfuración.

El azufre imparte fragilidad en caliente al acero y afecta sus propiedades mecánicas, por lo cual su contenido por lo general se limita a un máximo de 0.05% aunque en ciertos tipos de aceros, como los de corte fácil se utiliza en contenidos de 0.20 a 0.40 %.

La eliminación del azufre es muy difícil y lo más conveniente es evitar su presencia en el proceso. El azufre puede provenir del arrabio, de la chatarra o de los aceites combustibles. En este último caso es absorbido por la carga, principalmente durante el período de carga y fusión, donde entra en contacto directo con la carga metálica produciéndose las reacciones



En el FeS del metal pasa por difusión a la escoria favoreciéndose esto con la agitación de la carga, donde reacciona con los óxidos CaO MnO para formar.



La reducción de la concentración del FeS en la escoria por las reacciones anteriores, provoca que la difusión del FeS del metal a la escoria continúe, lo que da como resultado que el contenido del azufre en el metal disminuya.

Para que lo anterior se efectúe, se requiere que la escoria contenga suficiente MnO, y suficiente CaO libre, mientras mayor es el contenido de CaO en la escoria, mayor es la capacidad de desulfuración, hasta el límite de dicho incremento aumenta la viscosidad de la escoria haciéndola menos reactiva, con lo que la difusión del FeS a la escoria se dificulta. De esto puede deducirse que la desulfuración se favorece con el incremento de temperatura porque esto garantiza buena disolución de la cal en la escoria y mayor fluidéz de ésta.

Cuando el contenido de azufre en las materias primas es alto se requiere calcular un carbono de fusión alto, para garantizar una carga caliente y un período de agitación larga y poder hacer varias adiciones de mineral de hierro para agitarla fuertemente y eliminar escoria saturada de FeS.

2.2.7.- Escorias.

Las escorias desempeñan un papel principal en el afino de la carga ya que tanto la actividad química como el calentamiento se desarrollan a través de ellas. Es muy generalizada la opinión de los fundidores de que un buen acero solo se logra con una buena escoria.

La formación de escorias se inicia con la adición del arrabio y el período de fusión completa, con la presencia de óxido de fierro y la oxidación del silicio, magnesio fósforo y cromo, la escorificación del revestimiento refractario del horno por el ataque del óxido de fierro que incorpora el MgO a la escoria y por la presencia de la carga de materiales metálicos como el mineral de fierro, caliza, cal y flurita.

La escoria se compone de óxidos básicos y anfóteros así como también sulfuros como CaS , MnS , FeS . Los óxidos básicos incluyen el CaO , MnO , y MgO y FeO , los ácidos son el SiO_2 , P_2O_5 , TiO_2 , V_2O_5 , y los anfóteros son Al_2O_3 , Fe_2O_3 , y Cr_2O_3 .

Los óxidos básicos reaccionan con los ácidos y los anfóteros para formar los compuestos químicos; silicatos, fosfatos, aluminatos y ferritos. A alta temperatura una parte de estos compuestos tiende a disociarse en sus óxidos originales.

Para mantener el proceso de oxidación y eliminar azufre y fósforo la escoria debe contener los óxidos básicos CaO , MnO , MgO , y FeO libres.

La concentración de éstos al estado libre, especialmente el CaO , determina el poder básico de la escoria estableciéndose éste como la relación en peso entre óxidos básicos y ácidos, más frecuentemente expresado como la relación entre las concentraciones de CaO y las de SiO_2 más P_2O_5 .

2.2.8.- Propiedades de la escoria.

Viscosidad.- La viscosidad o fluidéz, es una de las propiedades físicas más importantes de la escoria fundida, ya que de ella depende la velocidad de difusión, la reactividad, el grado de agitación y la transmisión de calor. El punto de fusión de las escorias es factor determinante de la viscosidad y de--

pende principalmente de la composición química. Los óxidos como CaO , MnO , --- Cr_2O_5 y MgO tienden a subir el punto de fusión mientras que el SiO_2 , P_2O_5 , Fe_2O_3 y Al_2O_3 tienden a bajarlo.

La medición de la viscosidad de la escoria es muy difícil, pero puede tenerse una idea de ésta, el acero a 1600 grados centígrados sería 2.8 y la escoria 22. Una escoria altamente básica y gruesa puede tener una viscosidad 10 a 300 veces la del acero.

Disolución.- Todos los compuestos que forman la escoria deben encontrarse en estado líquido y disueltos. Especialmente debe evitarse la presencia de cal cruda que no actúa químicamente y aumenta la viscosidad.

Reactividad química.- La composición de la escoria y sus condiciones físicas deben ser tales que faciliten el proceso de difusión, aceleren la oxidación de la carga y mantengan las condiciones de desequilibrio necesarias para acelerar el proceso.

Conductividad térmica.- Las escorias son malas conductoras del calor, pero esta característica se agrava cuando están espumosas demasiado gruesas y -- viscosas. Para lograr una buena conductividad térmica se deben evitar estas -- condiciones.

Influencia de la inyección de oxígeno en las escorias.- La inyección de oxígeno del baño metálico mejora las propiedades de la escoria haciéndola más fluida y reactiva. Esto se debe a que el oxígeno aumenta la agitación y la temperatura y produce suficiente Fe_2O_3 para bajar su punto de fusión. Inyectando oxígeno es posible suministrar todo el CaO necesario en forma de cal durante el afino en lugar de cargar caliza. Esta última práctica puede ser peligrosa cuando el proceso es más rápido que el levantamiento de caliza, especialmente-

con crisoles muy profundos. El uso de la cal se facilita porque ésta entre en solución con la escoria rápidamente por la temperatura, la agitación y la concentración de Fe_2O_3 .

2.2.9.- Operaciones de Afino.

Aún cuando las adiciones de cal y mineral se inician hasta que la carga está totalmente fundida, puede considerarse que el afino no se inicia con la primera adición de arrabio con las reacciones de oxidación y el derrame de escoria alta en SiO_2 , FeO y P_2O_5 fuera del horno.

Después de la primera adición de arrabio se suspende la operación de los quemadores gas-oxígeno si éstos se usan y se bajan las lanzas de oxígeno introduciéndolas unos 8 cm. dentro de la escoria. La oxidación directa de la carga eleva su temperatura y las burbujas de CO levantan el nivel de la escoria haciendo que derrame por la puerta de escoriado. La inclinación de los quemadores debe ajustarse para que la flama cubra la mayor parte del baño y la cantidad de combustible se reduce debido al calor que está obteniéndose con la inyección de oxígeno. De ninguna forma conviene tener un exceso de combustible dentro del horno, que aunque éste, se puede quemar completamente, la carga no la absorbe con la misma rapidéz que se produce, siendo entonces absorbido por el refractario del horno y perdido con los gases que salen de la atmósfera. En ambos casos se están ocasionando pérdidas.

El calor que se obtiene por la oxidación directa de las impurezas acelera la fusión de la chatarra.

Al mismo tiempo que se termina de fundir la carga se mantiene el desescoriado. Siendo ésto necesario para desalojar el máximo de SiO_2 y P_2O_5 con objeto de reducir el consumo de la cal y el volúmen de escoria dentro del horno.

Por otro lado, un desescoriado abundante rico en FeO ocasiona pérdidas de hierro que disminuyen el rendimiento de la carga.

En el momento que la carga termina de fundirse puede determinarse con mucha aproximación tanto por sondeos con barra como por determinación del contenido de carbono y la temperatura, auxiliándose de un diagrama carbono temperatura deducido del diagrama hierro-carbono para el rango de 1.0 a 1.5% C.

Es necesario que dicha condición se conozca oportunamente para evitar demoras en el afino y elevaciones peligrosas de temperatura.

Cuando se carga caliza al horno parte de ella flota desde la adición de arrabio, pero la mayor parte queda cubierta con una capa de hierro de la chata que se fundió y volvió a solidificarse al entrar en contacto con la caliza fría. Esta capa es la última en fundirse y evita que la caliza calcinada se levante hasta que la carga está casi totalmente fundida. Por ésta razón el operador identifica el levantamiento de la caliza con la fusión completa de la carga. En cargas con cal los trabajos de afino se inician con el acondicionamiento de la escoria con adiciones de fluorita para disolver la cal.

Cuando la carga no contiene cal ni caliza los trabajos de afino se inician cuando la carga está totalmente fundida agregando cal en porciones no mayores de .20 ton. a la vez para permitir que se disuelva. Cuando la temperatura y el contenido de carbono lo permiten se empieza a hacer adiciones de mineral para favorecer la disolución de la cal por la agitación producida aún cuando la inyección de oxígeno favorece la disolución de cal. no debe abusarse de la cantidad agregada al mismo tiempo. Cuando se observa que la cal no se disuelve o que la escoria está viscosa, deben hacerse adiciones de fluorita, aunque no debe abusarse de la cantidad de ésta porque puede producir escorias es-

pumosas o atacar al refractario.

El incremento de temperatura y la descarburación de la carga son factores determinantes para las operaciones y tiempos del afino, puesto que la carga debe calentarse hasta alcanzar la temperatura necesaria para colar al mismo tiempo que reduce el contenido de carbono hasta tener el indicado para colar, ambos valores deben alcanzarse casi simultáneamente.

Para el control de calentamiento y descarburación debe tomarse en cuenta que con menos de 4.26% de carbono, a medida que disminuye éste, aumenta el punto de fusión de la aleación. Con 4.26% de carbono el punto de fusión es de 1153 °C. mientras que el hierro puro funde a 1536°C. Para evitar enbancamientos de la carga y mantener la escoria caliente es conveniente mantener la temperatura del baño unos 40°C. arriba del líquido con variaciones no muy grandes de este margen que depende de la capacidad térmica del horno y del carbono residual. (Los valores de carbono y temperatura se grafican). Cuando la carga se encuentra abajo del rango establecido la escoria se vuelve viscosa y poco reactiva, la carga pierde actividad y puede embarcarse. En este caso no se debe aumentar el combustible y suspender adiciones de cal y mineral para no enfriar la carga. No pocos fundidores acostumbran en este caso levantar un poco las lanzas de oxígeno para disminuir la velocidad de descarburación hasta que la carga recupere el valor necesario.

Aún cuando lo anterior la temperatura continúe baja, debe tomarse la decisión de desviar el grado de acero programado a uno de carbono residual más bajo o recarburar la carga con arrabio sólido o líquido. Esto último debe decirse oportunamente para evitar pérdidas de tiempo. Debe considerarse que la adición de arrabio introducirá impurezas que deberán eliminarse agregando la

cal correspondiente u dando el tiempo apropiado, no menor de una hora, para poder colar.

Cuando la temperatura de la carga está arriba del rango establecido puede reducirse al combustible, agregar cal si lo requiere la carga o agregar mineral de fierro para reducir el contenido de carbono y mantenerse dentro del rango. Si la temperatura se mantiene muy alta del rango se pierde calor que observe el refractario, se propicia la reversión de fósforo y se propicia la reacción de la carga con el crisol, coasionándose pozos y agujeros por donde puede perderse toda la carga.

La cantidad de cal o mineral que se puede agregar al baño para un carbono o temperaturas dadas depende de la capacidad del horno para recuperar el calor.

Por el método convencional, la recuperación del calor es sumamente lenta por lo que las adiciones deben ser pequeñas. Con inyección de oxígeno la recuperación del calor es rápida. Pudiendo jacerse adiciones fuertes.

2.2.10.- Reposo de la carga.

Cuando el contenido de carbono es cercano al residual establecido se suspende la inyección de oxígeno. Normalmente se establece suspender adiciones de 30 minutos antes de bloquear o vaciar y suspender inyección de oxígeno de 15 a 30 minutos antes de lo mismo, según el tipo de acero.

Este período de reposo o agitación lenta se requiere para flotar los no metálicos, homogenizar la temperatura y composición del baño y controlar el descenso del carbono.

2.2.11.- Desoxidación o bloqueo.

En aceros conteniendo silicio arriba de 0.05% normalmente se establece la práctica de agregar una cantidad determinada de FeSi, FeMn o SiMn al horno cuando se tiene el carbono residual apropiado, parándose la oxidación del carbono por la acción desoxidante de dichos materiales.

Con esto se persigue lo siguiente:

1.- La aleación en el horno es más conveniente que en la olla por que se dispone de más temperatura para fundir las ferroaleaciones y mayor tiempo para flotar los óxidos producidos. Esto es especialmente necesario para aceros que requieren en cantidad fuertes de ferroaleaciones.

2.- Se detiene la oxidación del carbono dando tiempo a que el laboratorio haga una determinación y se pueden hacer los cálculos de las adiciones finales correctamente.

Contrario a lo anterior se corre mayor riesgo de reversiones de fósforo por mayor área de contacto entre escoria y acero, y mayor pérdida de ferroaleaciones por oxidación.

En el caso de materiales no oxidables como el cobre, níquel y molibdeno su adición debe hacerse con mayor anticipación para hacer los ajustes necesarios.

En el caso de aceros efervescentes de bajo contenido de carbono, con el silicio no mayor de 0.15%, no es necesario efectuar la operación anterior en el horno, además de que no es posible por las condiciones altamente oxidantes de la carga y la poca cantidad de ferromanganeso necesaria.

2.2.12.- Colado.

Una vez que la carga tenga el carbono residual y la temperatura apropiada

da, sea que haya requerido aleación o no, se procede a destapar el horno destapando el agujero de sangría y haciendo las adiciones necesarias en la olla. La temperatura de la carga en este momento debe estar 45 o 55 °C, arriba del líquido considerando las pérdidas de calor que se tendrán durante el colado, por fusión de las ferroaleaciones, a través de la olla y durante el vaciado en moldes, donde el acero debe llegar al estado líquido por buena temperatura para lograr una solidificación correcta.

2.3.- INYECCION DE OXIGENO POR LANZAS DURANTE EL AFINO.

De todas las formas de inyección de oxígeno al baño fundido la mejor desarrollada es a través de lanzas suspendidas por la bóveda. El número de lanzas operando en un horno puede variar de una a tres según su capacidad.

Mientras mayor sea su número se puede obtener mayor eficiencia por tener mayores flujos con menos salpicaduras, mayor área de reacción y mayor distribución del oxígeno.

2.3.1.- Prácticas de inyección.

El flujo inyectado a través de las lanzas puede ser constante durante toda la inyección o variable según el contenido del carbono. En este último caso el flujo se aumenta durante la primera etapa, cuando el contenido de carbono es alto y se va reduciendo a medida que disminuye éste.

Se ha encontrado que en la práctica de flujo variable se obtiene el máximo de aprovechamiento del oxígeno, pero es necesario disponer de suficiente oxígeno y capacidad de almacenamiento para absorber las variaciones en consumo. El mínimo se tendrá cuando los hornos coincidan en el periodo de carga y el máximo cuando coincidan en el afino, siendo necesario un análisis estadístico pa

ra determinar estos extremos.

Cuando no se dispone de capacidad suficiente de almacenamiento es forzoso mantener el consumo al ritmo con que se produce, aún cuando no sea en la forma más apropiada. Para no tirar oxígeno a la atmósfera el operador puede verse obligado a usar el oxígeno durante la carga y calentamiento con las mismas lanzas de oxígeno si no se dispone de quemadores oxigas. A menos que en los porcentajes de chatarras cargados justifiquen el uso de quemadores oxigas o se disponga de suficiente producción de oxígeno para operarlos, el mejor aprovechamiento del oxígeno se obtiene inyectándolo al baño fundido aumentando el flujo cuando el contenido de carbono es alto.

	Flujo constante		Flujo variable	
	$\frac{10^6 \text{ KCal}}{\text{Hora}}$	$\frac{\text{m}^3_{\text{O}_2}}{\text{Hora}}$	$\frac{10^6 \text{ KCal}}{\text{Hora}}$	$\frac{\text{m}^3_{\text{O}_2}}{\text{Hora}}$
De principio de carga				
hasta arrabio	25	0	25	0
1a.- hora afino	15	1600	12.5	2000
2a.- hora afino	17.5	1600	15.0	1800
resto afino	17.5	1600	17.5	1600

Tabla.- Programas para flujos constantes y variables.

La inyección de oxígeno puede iniciarse durante la carga (si hay oxígeno disponible), 15 minutos antes de agregar al arrabio o después de la primera adición de arrabio.

Para bajar las lanzas deben darse los pasos siguientes en el tablero de control:

- 1.- Arrancar las bombas de enfriamiento. La presión mínima del agua de-

be ser 4 Kg/cm^2 para que el malacate de la lanza funcione.

2.- Establecer un puente para que la lanza pueda bajar con presión de oxígeno baja.

3.- Establecer el flujo necesario en el aparato de control.

4.- Accionar el malacate para bajar la lanza con velocidad alta para carrera inicial y velocidad baja para ajuste de nivel.

5.- Quitar el puente cuando el flujo sea normal para el malacate levantar la lanza si la presión de oxígeno baja de 2 Kg/cm^2 , para evitar que se tapen los agujeros.

El período de inyección termina entre 15 y 30 minutos antes de colar o bloquear la carga, según sea el tipo de acero que se fabrique. Al terminar la inyección las lanzas se levantan accionando el mecanismo de levantamiento y se inspeccionan para ver si no están rotas. Con las lanzas fuera pueden pararse las bombas de enfriamiento. Al sacar las lanzas el hornero avisa al fundidor para que éste programe su consumo en otro horno. Este control se ayuda también con lámparas rojas giratorias localizadas arriba del horno, que funcionan cuando la lanza está en operación.

Altura de las lanzas sobre el baño.- La punta de la lanza debe estar a un nivel tal sobre el baño que se tenga la mayor penetración de oxígeno de la carga sin daños en las lanzas ni ocasionar picaduras al refractario. Por experiencia se ha encontrado que introduciendo la punta 8 cm, dentro de la escoria ésta misma detiene las salpicaduras y la lanza no se daña a causa de falta de enfriamiento.

Puesto que el nivel de la escoria varía durante la jornada por el efecto espumoso que produce la descarburación, es necesario hacer ajustes de la al

tura especialmente durante la primera etapa de la inyección.

Aspecto del horno.- Inmediatamente que el oxígeno penetre en la carga la escoria se hace más espumosa y se observan flamas intensas en la zona de inyección producidas por la combustión del CO que sale del baño. Al mismo tiempo aumenta la presión y velocidad de los gases por el aumento de volumen general.

Tanto por las mirillas como por las chimeneas se observan humos rojos -- que a la salida de éstas forman una columna densa de gases y partículas de óxido ferrico cuyo tamaño varía entre 3 y 6 micras, la formación de humos rojos -- aumenta con el consumo de oxígeno, su penetración y el contenido de carbono.

2.3.2.- Fallas del equipo y dispositivos de seguridad.

Baja presión del oxígeno.- Cuando la presión del oxígeno baja de 2 Kg/cm² con la lanza en la operación, funciona un sistema sonoro de alarma y se acciona el malacate levantando la lanza para que los agujeros no se tapen.

Baja presión de agua.- Con menos de 4 Kg/cm² la lanza de oxígeno no baja y si la presión baja con la lanza en operación ésta se levanta automáticamente operando el sistema de alarma.

Fallas de corriente.- Al faltar la corriente eléctrica normalmente se paran las bombas, no operan los malacates, las válvulas solenoides del oxígeno cierran las válvulas de oxígeno de flujo y en ocasiones las grúas también se paran. En éste caso las lanzas deben levantarse manualmente, requiriéndose la intervención de varios hombres. Puede utilizarse para ésto la ayuda de un tractor del piso utilizando la misma polea de manejo de la lanza.

Lanzas agujeradas.- Al agujerarse una lanza, el agua de enfriamiento se escapa por el agujero. Cuando la fuga es pequeña no se nota, el agua enfría el acero que salpica la punta y éste se solidifica formando una costra grande que

hace a la lanza más pesada y dificulta su operación. Cuando la fuga es grande el agua puede embancar la carga si no se detecta a tiempo. Si el agua cae sobre el crisol daña el refractario y produce pozos. Por éstas razones, cualquiera - que sea la magnitud de la fuga, conviene cambiar la lanza de inmediato.

2.3.3.- Normas de seguridad.

En todas las operaciones de instalación, conexión y manejo general del equipo de inyección debe evitarse la presencia de grasas y aceites, polvo, rebabas y cuerpos extraños que puedan entrar fácilmente en combustión con el oxígeno.

2.4.- BALANCE DE CARGA:

Los cálculos se harán refiriéndose a una ton. de Acero.

Elemento	Arrabio	Chatarra	Prom.	Residual	Por Eliminar	Kg/ton.	Moles
C	4.00	0.20	2.15	0.10	2.05	20.5	1.71
Si	0.57	0.03	0.32	0.00	0.32	3.2	0.114
Mn	0.20	0.60	0.39	0.06	0.33	3.3	0.06
P	0.60	0.02	0.33	0.02	0.31	3.1	0.10
Fe	94.50	99.00	96.70	99.70	--	--	--

Balance del Fierro.

Merma por arrastre y pérdidas = 260×0.03 igual a 7.8 ton.

Fe en carga metálica = $(260 - 7.8) \times 0.967$ igual a 244 ton.

Fe en mineral = 3.0×0.50 igual a 1.5 ton.

Total de Fe en carga metálica = 245.5 ton.

Fe en el acero = $233.5 \times .99$ igual 231.1 ton.

Fierro oxidado = 14.4 ton. = 55.4 Kg/ton. = 0.99 Moles/ton.

Del fierro oxidado el 70% vá a la escoria y el 30% arrastrado por los gases. El 67% del total se oxida a FeO y el 33% a Fe₂O₃.

Fe en la escoria $14.4 \times 0.70 = 10.08$ ton = 38.7 Kg/ton = 0.69 Moles/ton

Fe en los humos $14.4 \times 0.30 = 4.32$ ton = 16.6 Kg/ton = 0.30 Moles/ton

Fe a FeO total = $0.99 \times 0.67 = 0.663$ Moles/ton

Fe a Fe₂O₃ total = $0.99 \times 0.33 = 0.326$ Moles/ton

Composición de los humos:

FeO = $16.6 \times 72/56 \times 0.67 = 14.29$ Kg/ton

Fe₂O₃ = $16.6 \times 160/112 \times 0.33 = 7.8$ Kg/ton

Consumos de combustibles y oxígeno

	Consumo/ton	Pc. Kcal/M ³ N	Q total Kcal/ton
Gas natural	45.0 M ³ N	8450	380 000
Aceite	14.4 Kg.	8774	126 000
Q comb.	-----		506 000 Kcal/ton
Oxígeno	-----		29.5 M ³ N
Aire	-----		730.0 M ³ N

Composición de la escoria

Compuesto	Kg/ton	%
SiO ----- 0.114×60	6.84	6.02
MnO ----- 0.060×71	4.26	3.75
P ₂ O ₅ ----- 0.10×142	14.20	12.51
CaO ----- 7200/260	27.70	24.40
FeO ----- $38.7 \times 72/56 \times 0.67$	33.30	29.34
Fe ₂ O ₃ ----- $38.7 \times 160/112 \times 0.33$	18.20	16.03

MgO, Al ₂ O ₃ , Cr ₂ O ₃ y otros	<u>9.10</u>	<u>8.00</u>
TOTAL -----	113.50	100.00

Peso total de la escoria ----- 113.50 x 260 = 29.5 ton.

Análisis químico de combustibles y oxidantes.

	Oxígeno	Aire	Gas Nat.	Aceite
O ₂	99.5	21.0	---	---
N ₂	0.5	79.0	---	---
CH ₄	---	---	90.0	---
C ₂ H ₆	---	---	10.0	---
C	---	---	---	86.5
H ₂	---	---	---	12.6

Balace de oxígeno:

Oxígeno	M ³ N/ton	%
O ₂ del Mineral $\frac{11.5 \times 0.50}{112} \times \frac{3}{2} \times 22.4$	1.75	1.0
O ₂ gaseoso $\frac{33 \times 0.995 \times 233.5}{260}$	28.45	15.5
O ₂ del aire 730 x 0.21	<u>153.30</u>	<u>83.5</u>
TOTAL -----	183.50	100.00

Oxígeno necesario y gases de combustión:

Reacción	Operaciones	O ₂ Necesario	Gases CO ₂	Prod. H ₂ O
C + O ₂ = CO ₂	1.71 x 22.4	38.40	38.40	
Si + O ₂ = SiO ₂	0.114 x 22.4	2.56		
Mn + 1/2O ₂ = MnO	0.06 x 11.2	0.67		
2P + $\frac{5}{2}$ O ₂ = P ₂ O ₅	0.1 x 1.25 x 22.4	2.80		
2Fe + 3/2O ₂ = Fe ₂ O ₃	0.32 x .33 x 0.75 x 22.4	1.78		

$Fe + 1/2 O_2 = FeO$	$0.32 \times 0.67 \times 11.2$	2.40		
$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + H_2O$	$45 \times 0.90 \times 2$	81.00	40.50	81.0
$C_2H_6 + 7/2O_2 = 2CO_2 + 3H_2O$	$45 \times 0.1 \times 3.5$	15.70	9.0	13.5
$C + O_2 = CO_2$	$14.4 \times 0.86 \times \frac{22.4}{12}$	23.30	23.3	
$H_2 + 1/2 O_2 = H_2O$	$14.4 \times 0.126 \times \frac{11.2}{2}$	<u>10.10</u>	_____	<u>20.2</u>
TOTAL -----	-----	178.71	111.20	114.7

Oxígeno excedente $183.5 - 178.71$ $4.79 \text{ M}^3/\text{ton}$ ----- 2.6%

Análisis químico de los gases de combustión (% en volúmen)

	$\text{M}^3\text{N}/\text{ton}$	%
N_2 -----	576.87 -----	71.43
CO_2 -----	111.20 -----	13.78
H_2O -----	114.70 -----	14.20
O_2 -----	<u>4.79</u> -----	<u>0.59</u>
TOTAL -----	807.56 -----	100.00

2.5.- BALANCE TERMICO:

$Q = m C_s (t_2 - t_1)$	Calor en materiales		
Kg/ton	C_s Kcal/Kg	Q	Kcal/ton
Arrabio a 1250 C	540.0	267.5	144.450
Acero a 1600 C	730.0	325.0	291.850
Escoria a 1600 C	113.5	480.0	54.480

Calor absorbido por disolución del mineral:

Mineral $11.5 \times 1350 = 15525 \text{ Kcal/ton}$

Calor en Aire y Gases:

	$(t_2 - t_1)^\circ\text{C}$	M ³ /ton	C _s Kcal/M ³	Q Kcal/ton
Aire	1080	730.0	0.302 + 0.000022 x 1080	256777

Gases de combustión:

O ₂ , N ₂	1380	581.66	.302 + 0.000022 x 1380	266781
CO ₂	1380	111.20	.406 + 0.00009 x 1380	81362
H ₂ O	1380	<u>114.70</u>	.373 + 0.00005 x 1380	<u>69962</u>
Total gases comb.		807.56		418105

Calor generado por reacciones químicas

	Moles/ton	Calor de reacción Kcal/Kg mol	Q de reacción Kcal/ton	%
Si a SiO ₂	0.114	217600	24,806	7.00
C a CO ₂	1.710	94000	160,740	45.37
Mn a MnO ₂	0.114	217000	24,806	7.00
P a P ₂ O ₅	0.100	370000	37,000	10.45
Fe a FeO	0.663	63800	42,300	11.95
Fe a Fe ₂ O ₃	0.326	196800	64,157	18.11
2Ca SiO ₂	0.114	30200	3,442	0.97
3CaO P ₂ O ₅	0.110	162680	<u>16,268</u>	<u>4.59</u>
TOTAL -----			354,233	100.00

2.6.- BALANCE TERMICO TOTAL

	Calor entregado Kcal/ton	%
Arrabio -----	144,450	11.4
Reacciones -----	354,233	28.1

Aire -----	256,777	20.4
Combustible -----	<u>506,000</u>	<u>40.1</u>
Total entregado -----	1261,460	100.0
Calor sustraído		
	Kcal/ton	%
Acero -----	291,850	23.1
Escoria -----	54,480	4.3
Gases a la atmósfera -----	418,105	33.2
Mineral -----	15,525	1.2
Otras Pérdidas -----	<u>481,500</u>	<u>38.2</u>
Total sustraído -----	1261,460	100.00

2.7.- TIPOS Y CALIDAD DE ACEROS PRODUCIDOS

2.7.1.- Clasificación general de aceros.

En el taller donde se desarrolló este trabajo se producen aceros en -- lingotes para laminación de planos y perfiles con contenidos de carbono que -- varían, según el tipo de acero, entre los límites de 0.02 a 1.02%, manganeso -- entre 0.20 y 1.85%, silicio entre 0.015% máximo y tan alto como 3.0% para usos -- eléctricos, fósforo entre 0.015% máximo y 0.10% en refosforados, azufre entre -- 0.006% máximo y 0.34% en resulturados; además de aceros con aleación de cromo, -- níquel, molibdeno, aluminio, vanadio, cobre, etc.

Todos los aceros se clasifican dentro de tres grupos, según su forma de -- solidificación en el molde, estos son: aceros calmados, semicalmados y eferves -- centes. La diferencia entre calmados y efervescentes consiste en que en los -- primeros la solidificación es calmada y sin movimiento aparente, mientras que -- en los segundos va acompañada de una fuerte ebullición ocasionada por expul---

si3n de CO que se produce por reacci3n entre carbono y ox3geno. Para que esta-reacci3n se produzca es necesario que haya suficiente ox3geno disuelto en el -acero para romper el equilibrio, por lo cual, los aceros efervescentes son ne-cesariamente de bajos contenidos de carbono, manganeso, silicio y otros elemen-tos desoxidantes.

2.7.2.- Aceros calmados.

Tienen por lo general un contenido m3nimo de silicio de 0.10% y conte-nidos relativamente altos de carbono, manganeso, u otros elementos como el alu-minio, que reducen el contenido de ox3geno a un nivel m3nimo que en ninguna --forma llega al nivel equilibrio. Son los aceros de mayor resistencia y dureza. Dentro del molde se comportan como cualquier soluci3n distingui3ndose en un --corte transversal y por la forma de cristalizaci3n, 3 zonas diferentes, que --son la piel, la zona columnar y la zona central.

Al caer el acero en el molde froo se produce una capa de peque3o espe--sor de solidificaci3n instant3nea con formaci3n de cristales equiaxiales peque--nos y cuya composici3n es similar al an3lisis promedio. Al disminuir el gra---diente de temperatura entre s3lido y l3quido la solidificaci3n es m3s lenta y algunos cristales orientados perpendicularmente a las paredes del molde crecen en forma dendr3tica formando la zona columnar, de granos elongados. La solidi-ficaci3n de las dendritas produce segregaci3n de carbono y otros elementos que van enriqueciendo las capas adyacentes y bajando su punto de fusi3n, lo que fa-vorece el crecimiento de dichas dendritas. Al ser a3n menor el gradiente de --temperatura, el l3quido del centro del lingote empieza a solidificar, formando cristales equiaxiales que se precipitan al fondo produciendo un movimien-to suficiente para remover el l3quido impuro arriba y deteniendo adem3s el creci---

miento de la zona columnar por formación de cristales equiaxiales. La precipitación de cristales produce una zona en forma de V invertida, en la parte central inferior del lingote, con segregación negativa. En la Zona columnar queda atrapado entre los granos líquido impuro y en la parte superior central del lingote, debido a que es la última en solidificar, se concentra el líquido impuro formando una zona en forma de V de segregación positiva, con alto contenido de carbono. La solidificación produce una contracción o rechupe que resulta en el centro del lingote y que se desplaza hacia la cabeza manteniendo ésta caliente por más tiempo, con ayuda de materiales aislantes y exotérmicos.

2.7.3.- Aceros semicalmados.-

Tienen generalmente un contenido de silicio entre 0.05 y 0.08% y contenidos medios de otros elementos desoxidantes, lo que permite un contenido de oxígeno mayor que en los calmados y suficiente para producir en cierto grado la reacción entre carbono y oxígeno con formación de CO en la cabeza del lingote, que origina formación de huecos que en sumo equivalen al rechupe normal y que sueldan al laminarse cuando no están oxidados. A excepción de esta formación de gases la solidificación es muy similar a la de los calmados. En la base del lingote normalmente no quedan huecos o sopladuras porque el CO no se forma a causa de la presión ferrostática.

2.7.4.- Aceros efervescentes.

Son de bajo contenido de silicio y elementos desoxidantes, con carbononormalmente inferior a 0.12%, lo que permite en mayor contenido de oxígeno disuelto en el acero en forma de FeO. Al hacer la aleación en la olla normalmente se agrega aluminio en barras para controlar el nivel de oxígeno de tal forma

que aún sea necesario complementar la desoxidación en el molde con pequeñas -- adiciones de aluminio en granalla pra controlar el grado de efervescencia.

Como se mencionó anteriormente, el contenido de oxígeno en el acero depende principalmente del contenido de carbono con el que puede estar en equili**br**io en determinadas condiciones y concentraciones. En los aceros efervescen**tes**, el carbono y el oxígeno se mantienen en equilibrio dentro de la olla; pero en el momento en que el acero cae al molde frío y empieza a solidificar hay se**g**regación de carbono y oxígeno, que al aumentar sus concentraciones rompen el equilibrio y reaccionan formando el CO .

En la solidificación de estos aceros también se presentan 3 zonas principales: la piel del lingote por solidificación instantánea, la zona ferrítica o de efervescencia y la zona central. Debido a la efervescencia, el líquido im**pu**ro formado por la segregación es removido continuamente evitándose el crecimiento de dendritas y formándose en cambio una capa ferrítica muy pura, de --- cristales equiaxiales, que por denominación práctica se le llama pellejo. En la zona de efervescencia se presentan dos zonas: la de pellejo sano y la zona de sopladuras. Las sopladuras se forman por burbujas de CO atrapadas a causa de la presión ferrostática y consisten en pequeños tubos orientados al centro del lingote, separados del exterior por el pellejo y la piel y localizados desde la base hasta una altura donde la presión ya no impide la evolución del CO . Estas sopladuras sueldan durante la laminación cuando no se encuentran oxidadas. Después de las sopladuras alargadas o primarias, se presentan otras pequeñas y redondas llamadas secundarias. El centro de la parte superior del lingote es muy poroso por la misma perforación de gases y no se presenta rechupe -- porque la contracción normal ha quedado distribuida en los poros. La eferves--

cencia se puede parar enfriando la cabeza con una placa metálica o agregando un desoxidante. El momento apropiado para ésto depende de la capa ferrítica -- que se desee y el grado de segregación que se pueda tolerar.

Por su solidificación y su composición estos aceros son de baja resistencia y dureza, utilizándose para fabricación de hojalata y lámina para cubiertas y troquelados. Debido al pellejo su calidad superficial es superior a la de los semicalmados y calmados.

2.8.- USOS.

2.8.1.- Aceros efervescentes.

Hojalata (lámina estañada), lámina negra, lámina para esmaltado y troquelado profundo. Placa de bajo espesor para carros de ferrocarril y troquelado profundo, alfileres, alambre de púas y gallinero, alambre para estiraje en frío, electrodos para soldadura, tornillería y grapas. Tubería conduit en rollo.

2.8.2.- Aceros semicalmados.

Plancha para troquelado, plancha de espesores altos, plancha para embarcaciones, plancha para brida y calidad fogón, torres de transmisión, tubería API en rollo y plancha, flejes, tornillería, acero estructural, corrugados y perfiles, comerciales, corrugado de alta resistencia.

2.8.3.- Aceros calmados.

Acero de alta resistencia, estructural, plancha calidad fogón para calderas y hornos. Recipientes de alta presión, torres de transmisión, pernos pequeños, pernos de motor, equipo para la industria petrolera, cajas de engrane, tornillería, rayos de bicicleta, forja en frío, corrugado de alta resistencia.

y perfiles estructurales, válvulas para forja en caliente, alambre para estiraje, cables alta resistencia, resortes, implementos agrícolas, barras para moli no.

2.8.4.- Aceros calmados con aluminio.

Lámina y placa para troquelado extraprofundo y alambre estirado en frío, lámina emplomada para industria automotriz.

2.8.5.- Aceros al silicio.

Núcleos para motores eléctricos (bajo silicio), núcleos para transformadores (alto silicio).

2.8.6.- Aceros de baja aleación.

Solera, barras para molino, solera muelle, abrazaderas para muelle, válvulas, piezas de equipo petrolero para forja en caliente, barras exagonales alta resistencia, forja.

Aceros resulfurados y refosforados.

Barras y tuercas, acero para corte rápido, bujías.

2.9.- CALIDAD DE LOS ACEROS CON INYECCION DE OXIGENO.

2.9.1.- Aceros de bajo carbono.

Como se estableció, la decarburación de la carga y el grado de agitación son interdependientes. A niveles bajos de carbono, inferiores a 0.10%, la formación de CO es muy baja y la agitación casi nula, por lo que el oxígeno pasa de la escoria al baño muy lentamente, y tanto por la falta de oxígeno como por su baja concentración, la decarburación se hace lenta y difícil, mientras que la escoria se hace progresivamente más rica en FeO, bajando el rendimiento

por oxidación del hierro y atacando químicamente al refractario.

Por el método convencional la decarburación de la carga presenta serias dificultades a niveles inferiores a 0.05%, siendo necesario ayudarse con medios mecánicos de agitación para bajarlo a 0.04%. El principal peligro, aparte de la oxidación de la escoria, consiste en que el proceso se prolongue demasiado y se embanque la carga por falta de transmisión de calor a la parte baja del baño.

Con inyección de oxígeno, ha sido posible llegar a niveles de 0.025 y con ayuda de agitación mecánica, a niveles de 0.014%. El peligro con la inyección de oxígeno en estos niveles se presenta cuando la decarburación final se prolonga y hay tiempo suficiente para sobreoxidar la carga, llegando a tener escorias con 70% de FeO que son altamente peligrosas para el refractario. En este caso la decarburación debe hacerse de un golpe, elevando previamente la temperatura y bajando el carbono de 0.05 con adiciones fuertes de mineral y agitación mecánica.

La capacidad de decarburar a bajos niveles puede ser desventajosa para los aceros efervescentes donde un nivel de carbono muy bajo puede disminuir la efervescencia.

2.9.2.- Aceros de bajo azufre.

La desulfuración de la carga es normalmente difícil porque la capacidad de la escoria para absorber azufre está limitada por el coeficiente de partición de este elemento. Sin inyección de oxígeno, el proceso depende más de los combustibles quemados, y cuando éstos son de alto contenido de azufre contaminan la chatarra durante la carga y saturan la escoria durante el afino. En cambio, con inyección de oxígeno se depende menos de los combustibles y se opera

con escorias más fluídas y calientes, permitiéndose la disolución rápida de la cal, además, el oxígeno quema directamente azufre de la escoria, bajando su -- concentración y permitiendo el paso del azufre del baño metálico a ésta, siendo posible obtener dentro del horno azufre de 0.012%. Aún como ésto, lo más recomendable para evitar demoras es contar con materias primas y combustibles bajos en azufre.

2.9.3.- Aceros de bajo fósforo.

La eliminación del fósforo se favorece con el incremento de oxidación de la carga y la cal libre disuelta en la escoria, aún cuando, a diferencia del -- azufre, se requiere eliminarlo a baja temperatura. Por el proceso convencional se presentan problemas especialmente con arrabio y mineral de fierro altos en fósforo. Cuando la escoria no se ha arreglado a tiempo, cuando ha faltado cal y ésta se quiere agregar al final del afino o cuando el nivel de oxidación es bajo, la eliminación del fósforo se hace muy difícil. Con la inyección de oxígeno se pueden alcanzar niveles altos de oxidación de la escoria y se pueden disol-- ver rápidamente la cal agregada durante el afino y solo se presentan problemas cuando el fundidor se confía demasiado en estas ventajas.

2.9.4.- Contenido de nitrógeno en el acero.

El nitrógeno es un elemento que en contenidos muy bajos produce efectos nocivos en el acero, tales como endurecimiento y limitación del crecimiento -- del grano, aunque hay que aclarar que algunos aceros lo requieren por esos mis-- mos efectos.

Aún cuando normalmente no se analizaba, algunas pruebas periódicas die-- ron contenidos de 0.014 a 0.016 por le método convencional. Con inyección de -

oxígeno estos contenidos han bajado hasta 0.003 y 0.004%. Los factores que más han contribuido a bajar el nitrógeno con inyección de oxígeno consisten en un menor tiempo de la carga en contacto con el aire, menor dependencia de éste y principalmente, mayor agitación de la carga por evolución de CO . Algunos estudios han indicado que en la zona caliente de inyección de oxígeno se propicia la absorción de nitrógeno e inclusive se ha establecido, para evitar problemas, una pureza mínima de 99.5% en el oxígeno inyectado.

2.9.5.- Contenido de hidrógeno en el acero.

El hidrógeno ocasiona porosidad, fisuras, rupturas y agrietamiento en el acero a niveles tan bajos como 0.0003%. Su origen principal es el agua en la carga, especialmente en la cal, y los combustibles y atomizantes. También puede provenir de la humedad en ollas de vaciado y en moldes. Por esta razón, la mejor forma de controlarlo es controlando su origen. Comparativamente el proceso con oxígeno favorece mejor la eliminación del hidrógeno que el proceso convencional, principalmente por la fuerte ebullición del CO .

2.9.6.- Contenido de oxígeno.

El hecho de inyectar flujos considerables de oxígeno puro en la carga puede surgir la idea de un incremento fuerte de oxidación en acero y escoria con respecto al proceso convencional. En cuanto a oxidación del fierro se refiere, la carga sufre una merma aproximadamente 2% mayor que por el método convencional; pero esto no debe entenderse como un incremento proporcional en el contenido de oxígeno en la carga. La razón principal para que esto no suceda, es que con contenidos de carbono mayores de 0.20% la carga tiene una fuerte tendencia a restablecer el equilibrio entre carbono y oxígeno, lo cual se pue-

de comprobar por el hecho de que al suspender la inyección de oxígeno la carga se calma rápidamente. Esta misma tendencia es la que acelera el proceso de decarburación. El ejemplo más claro de que el contenido de oxígeno no aumenta en proporción al flujo es el convertidor al oxígeno donde el soplado se efectúa en 15 a 20 minutos con flujos normalmente mayores de 10000 m³/hora.

En aceros efervescentes y especialmente por los bajos niveles de carbono alcanzados, sí se puede incrementar la oxidación de la carga, especialmente el contenido de FeO en la escoria.

2.9.7.- Inclusiones no metálicas.-

La experiencia al respecto es que las inclusiones endógenas se han reducido con respecto al método convencional, debido especialmente a mayor temperatura, fluidéz y agitación de la carga, y a la formación de escorias más maduras. Los problemas de inclusiones endógenas en el proceso convencional se presentan por lo general en cargas que funden con carbono bajo, donde la afinación se prolonga y con frecuencia se tienen levantamientos de caliza en el momento de sangrar el horno.

La presencia de inclusiones exógenas se puede propiciar con la inyección de oxígeno cuando se alcanzan niveles elevados de oxidación de la escoria que ocasionan ataques al refractario de la olla.

2.10.- OBTENCION DE OXIGENO.

El oxígeno es un elemento químico muy abundante que forma el 21% en volumen de la atmósfera terrestre. Su obtención industrial, para las cantidades necesarias en la industria siderúrgica, se logra por la licuefacción y destilación fraccionada del aire. El proceso se basa en tres pasos fundamentales:

a.- Purificación.- Además de oxígeno, nitrógeno, argón y otros gases raros, el aire contiene polvo y humos, vapor de agua, anhídrido carbónico y algunos hidrocarburos combustibles. Estas impurezas deben eliminarse en el primer paso del proceso por filtrado y condensación.

b.- Enfriamiento.- En el ciclo del proceso el único trabajo que representa un consumo de energía debe ser la compresión del aire en el paso inicial, enfriándolo posteriormente aprovechando la acción refrigerante, de los productos fríos que salen del proceso. Después de la Purificación y este primer enfriamiento, la temperatura del aire se hace descender utilizando cualesquiera de los métodos siguientes:

1.- Por el método de Joule-Thompson, que consiste en bajar la temperatura de un gas comprimido permitiendo su expansión. Al aumento de volumen corresponde una disminución de la temperatura. El gas pierde calor al vencer las moléculas la fuerza de atracción entre ellas.

2.- Por método Claude que consiste en hacer que un gas comprimido realice un trabajo al expandirse, ya sea moviendo una turbina o un pistón reversible, con el resultado de que el calor se transforma en energía mecánica y el gas se enfría.

Rectificación.- Una vez que el aire ha sido enfriado a una temperatura cercana a su punto crítico, se somete a un proceso de rectificación o destilación fraccionada con el que se obtiene al oxígeno de la pureza deseada. Esta fase del proceso se basa en la diferencia del punto de ebullición de los componentes del aire y en el hecho de que este punto de ebullición aumenta con el aumento de presión. Para efectuar la separación por diferencias de puntos de ebullición de los componentes del aire líquido, la rectificación se efectúa en

una columna con platos de destilación perforados, donde se tiene un flujo ascendente de vapores ricos en nitrógeno, (de menor punto de ebullición que el oxígeno), y un flujo descendente de líquido que se va enriqueciendo con oxígeno.

Para la industria siderúrgica normalmente se utiliza una columna de doble rectificación que consiste en dos secciones independientes; La sección inferior llamada columna de alta presión y la sección superior llamada columna de baja presión, separadas por un condensador donde los vapores ascendentes de nitrógeno de la columna de alta presión se condensan por la acción refrigerante del oxígeno líquido de la columna de baja presión que se encuentra a menor temperatura, haciendo que se mantenga el flujo descendente del líquido en la columna de alta presión. De la base de la columna de alta presión se saca aire enriquecido con 38 a 40% de oxígeno que previamente limpio de hidrocarburos combustibles se inyecta a la columna de baja presión. De la parte superior de la columna de alta presión se saca nitrógeno puro que se envía a las turbinas de expansión para enfriarlo y utilizarlo en la columna de baja presión como refrigerante. En esta columna se efectúa el mismo proceso de destilación sólo que a baja presión y en la base se obtiene oxígeno líquido de la pureza deseada, el cual puede enviarse en esa forma para su almacenamiento o gasificarse en los intercambiadores de calor para enviarse a los departamentos de consumo.

2.10.1.- Descripción del proceso.

a.- Limpieza del aire.- El aire atmosférico se succiona por un turbocompresor de cuatro pasos que para dos unidades que producen 5200 m³/hora de oxígeno, tiene una capacidad de 3800 m³/hora. Antes de entrar al compresor de aire - pasa por un filtro de persiana donde se elimina al polvo y cuerpos extraños.

b.- Compresión en enfriamiento primario.- La compresión del aire aumenta su presión de 0.957 Kg/cm^2 hasta 5.6 Kg/cm^2 y la temperatura de 25°C a 80°C . A la salida del turbocompresor se pasa por un intercambiador de calor de donde sale a 60°C para entrar a una columna de enfriamiento por contracorriente con agua fría en donde sale a 25°C , haciéndose pasar a un separador cilíndrico para eliminar el agua arrastrada. El agua es a su vez enfriada con nitrógeno impuro procedente de los regeneradores.

Para enfriar el aire, las columnas cuentan con dos regeneradores que trabajan alternadamente con un ciclo completo de 16 minutos. Su función consiste en almacenar y ceder calor para enfriar el aire que entra aprovechando la acción refrigerante de los productos que salen del proceso. Consisten de una masa acumuladora formada por piedra de sílice con serpentines interconstruidos. El nitrógeno impuro se hace pasar a través de la masa de sílice mientras que los productos puros oxígeno y nitrógeno se hacen pasar a través de los serpentines, mientras que el regenerador está siendo enfriado por un flujo de productos fríos, calentándose éstos a su vez, en el otro regenerador el aire se está enfriando. Al bajar la temperatura a -2°C toda la humedad que contiene se deposita en forma de hielo y al alcanzar la temperatura de -35°C sucede lo mismo que con el anhídrido carbónico. El aire seco y depurado sale por la parte inferior del regenerador a una temperatura de -170°C .

Mientras tanto en el otro regenerador el nitrógeno impuro, y el oxígeno y nitrógeno puros, procedentes de las columnas de rectificación con una temperatura de -170°C y una presión de 0.5 Kg/cm^2 absorben el calor cedido por el aire, saliendo con una temperatura de 20°C a 25°C . El nitrógeno impuro que atraviesa la masa de sílice arrastra a su paso el agua y el anhídrido carbónico, que pa--

san a la fase gaseosa por sublimación.

c.- Descomposición del aire por rectificación.- El aire licuado seco y depurado, procedente de la caja de válvulas de retención de los regeneradores, a una presión de 5.2 Kg/cm^2 y una temperatura de -170°C entra a la parte baja de la columna de alta presión donde se producen vapores que ascienden en la columna en contracorriente con el líquido enriquecido. En esta misma sección se tiene acumulado aire líquido enriquecido con 38 a 40% de oxígeno, el cual antes de pasar a la columna de baja presión se pasa por un absorbedor de acetileno y otros hidrocarburos. Mientras que en la columna de alta presión se tiene únicamente 0.5 Kg/cm^2 . El oxígeno y nitrógeno salen del proceso con una presión de 0.3 Kg/cm^2 y una temperatura de 20°C a 25°C .

2.10.2.- Distribución del oxígeno.

El oxígeno debe comprimirse para enviarse a los departamentos de consumo. La presión necesaria depende del tipo de proceso y puede considerarse de 25 Kg/cm^2 a la salida de la planta para poder almacenarlo requiriéndose que los hornos Siemens Martín llegue con una presión de 12 Kg/cm^2 . La distribución se efectúa por tuberías que de tramo en tramo deben contar con una sección de acero inoxidable para evitar que cualquier incendio de la tubería progrese.

2.11.- LANZAS PARA INYECCION DE OXIGENO.

Las lanzas son el medio mecánico para transportar el oxígeno a las cercanías del baño metálico e inyectarlo en éste. El diseño de cada una de sus partes involucra el análisis de varios factores dando que su funcionamiento tiene muchos puntos críticos.

En términos generales la lanza esta compuesta por 3 tubos de acero con-

- céntricos, unidos en un extremo a una cabeza de bronce conectada a las líneas de suministro de oxígeno y entrada y salida de agua, y en el extremo opuesto - unidos a una cabeza de cobre electrolítico a través de la cual el ducto de oxígeno se conecta con el exterior por 6 agujeros. El diámetro de la tubería depende de los flujos de oxígeno y agua necesarios y la longitud total de la lanza - depende de la distancia entre el nivel del baño y el exterior de la bóveda.

2.11.1.- Localización de las lanzas.

Las lanzas se introducen al horno a través de agujeros hechos en la bóveda protegidos por cajas metálicas enfriadas por agua que dejan un espacio -- anular libre de 135 mm. Su localización deberá hacerse para obtener la mayor distribución de oxígeno, tomando en cuenta que si están situadas a una distancia menor de 2 m. entre sí se salpicarán una a otra y si están muy cercanas a las cabeceras, las salpicaduras serán arrastradas por los gases hacia los puertos.

Es conveniente además, localizar las lanzas entre puerta y puerta para evitar golpearlas durante la carga o al hacer adiciones durante el afino. Sin embargo, a veces se prefiere localizarlas frente a las puertas para que el hornero pueda verlas con facilidad, y se pueda acumular chatarra abajo de ellas.

Con crisoles muy anchos se prefiere localizarlas atrás del trayecto de la flama para evitar arrastre excesivo y desviación de la flama.

2.11.2.- Diseño.

Punta de la lanza.- La punta de la lanza es el elemento sujeto a las -- condiciones más rígidas porque tiene que soportar la temperatura más elevada, se cubre con escorias con frecuencia, también con acero y éste tiende a disol-

ver el material de que está hecho. Cuando se cubre de acero completamente, éste puede ocasionarle agrietamientos al contraerse cuando se enfría. La zona más crítica es la salida de las toberas a causa de la erosión ocasionada por el oxígeno.

Para evitar que el oxígeno reacciones con la punta éstas se hacen de cobre electrolítico cuya pureza no debe ser menor de 99,5%. La alta conductividad térmica del cobre favorece el enfriamiento con el agua.

Número de toberas de salida.- El número de agujeros debe ser el máximo que sin problemas puedan tener en la punta con objeto de lograr una buena distribución del oxígeno en el baño, los mejores resultados se han obtenido con 6 agujeros.

Inclinación de las toberas.- La determinación de la inclinación más conveniente debe hacerse en función de los resultados obtenidos considerando la distribución del oxígeno en el baño, el área de reacción lograda, la penetración de oxígeno en el baño y las salpicaduras producidas. Los mejores resultados se han obtenido con una inclinación de 20 a 25 grados al eje vertical.

Diámetro de toberas.- El diámetro de las toberas se determina con los factores de oxígeno, velocidad de salida, salpicaduras producidas y daños al refractario. Mientras menor es el diámetro, mayor velocidad de salida y mayor penetración del oxígeno en el baño, pero también aumentan las salpicaduras y se reduce la vida del refractario. Los mejores resultados obtenidos han sido de 12.7 mm. de diámetro para flujos menores de 700 m³/hora y de 15.88 mm. de diámetro para flujos que varían entre 700 y 1200 m³/hora.

Cuerpo de la lanza.- El cuerpo de la lanza debe construirse con tubería de acero sin costura cuyos espesores y diámetros dependen del diseño de la pun-

ta; éstos van soldados a la punta de cobre con soldadura de bronce al aluminio. En el espacio anular exterior, entre el tubo de oxígeno y el exterior de la lanza, debe disponerse de una espiral alambroón para favorecer la distribución del agua.

Cabeza de la lanza.- Los tubos concéntricos de acero están montados en su extremo superior a una cabeza de bronce donde se conectan con las mangueras de alimentación de oxígeno y agua y con la de retorno del agua. Para evitar intercomunicación de agua y oxígeno se deben ajustar con empaques circulares de buena calidad ya que si este ajuste falla, el agua pasa al ducto de oxígeno y los agujeros a la salida se tapan con acero solidificado.

La cabeza debe disponer de conexiones macho especiales para conexiones rápidas de candado, ya que las operaciones de montaje y desmontaje de lanza deben efectuarse rápidamente por ser ésta una zona de peligro y alta temperatura, y para evitar demoras.

Conexiones.- Las mangueras de conexión de oxígeno deben ser de acero inoxidable o bronce con conexiones rápidas de bronce y deben instalarse de tal forma que al subir y bajar la lanza no se doblen y puedan romperse. Las mangueras para agua son de hule reforzado con malla de acero y con doble forro metálico.

2.11.3.- Sistema de manejo.

Para subir y bajar la lanza debe disponerse de un sistema que consiste de una estructura sobre la cual se tiene instalado un malacate y un sistema de poleas para deslizamiento del cable de acero.

El malacate del sistema descrito consta de un motor de 2 HP, 440 Volts, 1750 RPM a la entrada y 24 rpm a la salida con relación de velocidad en el reductor de 72.9 a 1 con freno magnético para frenado rápido.

La capacidad del malacate debe ser mayor de la requerida por el peso de la lanza, considerándose las costras de acero que se puedan formar en la punta de la lanza.

La lanza cuelga del cable por un gancho que se ajusta a un cuello circular fijado a la parte inferior de la lanza de bronce. Este cuello protege a la cabeza de salpicaduras y ataque directo de las flamas que salen en su torno.

2.11.4.- Sistema de enfriamiento.

Las elevadas temperaturas a que la lanza está expuesta durante su uso, obligan a tomar todas las medidas necesarias para efectuar un buen enfriamiento, considerando presión, volúmen, y capacidad del agua necesaria.

De acuerdo con las experiencias obtenidas, el flujo mínimo de agua necesario debe ser de $15 \text{ m}^3/\text{hora}$, estableciéndose un rango óptimo entre 17 y $23 \text{ m}^3/\text{hora}$ y operando con una presión mínima de 4 Kg/cm^2 , con una temperatura en el agua de 30°C a la entrada y 50°C a la salida. En el caso referido se cuenta -- con agua de una dureza de 4000 ppm referido a CaCO_3 y 900 ppm de sólidos totales con un PH de 7.3. Para obtener la presión y el flujo necesarios se dispone de bombas tipo CNE-1.5-72 con motor de 15 HP, 440 V y 3500 RPM, con cabeza de 70 mm. y capacidad para $18 \text{ m}^3/\text{h}$. La tubería de suministro y retorno de agua de enfriamiento es cédula 40 de 76 mm. ϕ .

2.11.5.- Tubería para alimentación de oxígeno a las lanzas.

El oxígeno llega de las plantas que lo producen a una sub-estación donde se regula la presión de entrada al taller a un máximo de 10 Kg/cm^2 . En esta sub-estación se cuenta con un aparato que registra la presión y otro que registra e integra el consumo total de oxígeno.

De la sub-estación, el oxígeno se manda a los hornos por una línea de 152 mm. de diámetro instalada a lo largo de todo el taller. En cada horno se derivan dos líneas que bajan a una plataforma localizada sobre los tableros de control en la que se interconectan las válvulas regulares de flujo, las placas orificio y celdas de presión diferencial para medir el flujo. De esta plataforma ambas líneas atraviesan el piso de operación por la estructura superior del edificio, bajando en cada horno para conectarse con las lanzas. Todas las tuberías son cédula 40 de 100 mm. de diámetro con terminales de 50 mm. y con carretes de acero inoxidable, reconstruidos de tramo en tramo. En las líneas de alimentación debe disponerse de filtros para retener cuerpos extraños que haya podido arrastrar el oxígeno y puedan taponear la lanza. Estos deben instalarse antes de la placa orificio.

2.11.6.- Equipo de control.-

a.- Equipo para control de operación.- En el tablero de control debe contarse con un sistema para arrancar y parar las bombas de enfriamiento así como una serie de botones para subir y bajar la lanza. Para descenso de la lanza debe contarse con un botón para descenso rápido y otro para descenso lento para ajuste de altura.

b.- Equipo para control de flujo.- Para controlar el flujo, de ajuste manual y automático.

c.- Dispositivos de seguridad.

Con objeto de evitar problemas por mal manejo de equipo o por factores imprevistos, debe contarse con los dispositivos de seguridad siguientes:

c.1.- Un interruptor de presión para el sistema de enfriamiento, calibrado para una presión mínima de 4.0 Kg/cm^2 , que por medio de relevadores, ---

cuando la presión de agua se baja, impida que el malacate funcione cuando la lanza está fuera o lo accione para levantar la lanza cuando está en operación.

c.2.- Un interruptor de presión conectado a la línea de oxígeno que alimenta las lanzas, calibrado para una presión mínima de 2 Kg/cm^2 que actúa sobre el malacate en la misma forma que el anterior. Esto es para evitar que los agujeros de la lanza se tapen con acero.

c.3.- Un interruptor límite para evitar que la lanza baje más de lo normal y otro para evitar que suba más del nivel establecido para evitar riesgos de introducir la lanza en el acero o sacarla del horno hasta romper el cable.

c.4.- Sistema sonoros de alarma para presión de agua y oxígeno bajas.

c.5.- Lámparas rojas giratorias para indicar que las lanzas están en posición de inyectar oxígeno.

Los interruptores de presión e interruptores límite se interconectan -- por reelevadores al sistema eléctrico del malacate.

2.11.7.- Reparación de la lanza de oxígeno.

En casi la totalidad de los casos de deterioro en las lanzas, ésta se presenta en la punta, pudiendo recuperarse la cabeza de bronce y parte de la tubería de acero. Estas partes se aprovechan en la construcción de lanzas nuevas, siendo necesario reponer solamente la punta de cobre, que ya viene soldada a pequeños tramos de tubo de acero necesarios. Al hacer la reparación de una lanza, se desmonta la cabeza de bronce, se revisan las condiciones de la tubería de acero contándose y biselándose lo recuperable, se complementan los tramos de tubería y se sueldan, y se vuelve a montar la cabeza, reponiendo totalmente los empaques. La lanza debe probarse a presión.

C O N C L U S I O N E S

Haciendo un resumen de las ventajas obtenidas con la aplicación del oxígeno en el proceso Siemens-Martín se puede concluir lo siguiente:

- 1.- Se puede aumentar la capacidad instalada sin aumentar el número de hornos.
- 2.- Se incrementa la producción sin un aumento considerable en costo de primera inversión.
- 3.- Se reducen los costos de mano de obra.
- 4.- Se puede operar con porcentajes de arrabio en la carga que van desde cero hasta 80%.
- 5.- Se reduce el consumo de combustible.
- 6.- Se logra un mejor aprovechamiento del refractario.
- 7.- Se pueden obtener aceros con mayor variedad de composiciones.
- 8.- Se pueden obtener aceros con mayor o menor contenidos de carbono hasta menos de 0.04%.
- 9.- Se puede lograr una producción más oportuna de los aceros programados.
- 10.- Se logra un incremento promedio en la producción mayor del 40%.

Las lanzas suspendidas para la inyección de oxígeno es el mejor sistema de aplicación de oxígeno, especialmente para cargas con más del 50% de arrabio, ya que el oxígeno tiene mejor aprovechamiento inyectado al baño. Pueden utilizarse en combinación con quemadores laterales o de bóveda con oxígeno, siempre y cuando se disponga de suficiente cantidad de este elemento.

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

- 1.- BASIC OPEN HEARTH STEELMAKING, AIME 1964.
- 2.- THE MARKING, SHAPING AND TREATING OF STEEL, USS. 1964
- 3.- OXIGEN STEELMAKING, AISE, 1966
- 4.- FABRICACION DE ACEROS AL OXIGENO. A. Jackson. Edit. URMO. BILBAO, 1966.
- 5.- MANUAL DEL FUNDIDOR. SERVANDO CHAVEZ. 1960.
- 6.- METALURGIA. JOHNSON, WEEKS. Edit. REVERTE. 1961.