

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**



**TESIS DONADA POR  
B. - UNAM**

**CONCEPTOS GENERALES  
DEL ALTO HORNO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO  
PRESENTA**

**ENRIQUE SANCHEZ LAVARIEGA**

**1983**



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.

## INTRODUCCION

- I. RESEÑA HISTORICA DE LA SIDERURGIA 1
- II. EL ALTO HORNO Y SUS ACCESORIOS. DISEÑO Y CONSTRUCCION 5  
Partes constitutivas de un Alto horno. - Revestimiento Refractario. Estufas de aire caliente. -- Aparatos de limpieza del gas. Piso de carga. Sistema de insuflación del aire. Hornos de alta presión en el tope. --
- III. EL PROCESO DEL ALTO HORNO 18  
Combustión frente a las toberas. Marcha descendente de la carga. Producción y consumos en el proceso. Balance de calor para el proceso.
- IV. PROCEDIMIENTO DE CARGA DEL ALTO HORNO 30  
La distribución de la carga y su efecto en la operación. Ciclo mixto o combinado. Ciclo normal o regular. Ciclo invertido. Ciclo estratificado. -- Determinación del peso y proporción de la carga metálica.
- V. LAS MATERIAS PRIMAS 40  
El coque. Características químicas. Características físicas. El mineral de hierro. Clasificación de minerales. Estado de combinación del hierro. -- Granulometría. El sinter o aglomerado. Descripción del proceso y reacciones. Propiedades físicas del sinter. Tipos de sinter. Ventajas del uso del sinter en el alto horno. El pelet. Descripción del proceso de peletización. Los materiales complementarios que aportan hierro. Los fundentes. La caliza. La dolomita.
- VI. EL FUNCIONAMIENTO DEL ALTO HORNO ( PROCEDIMIENTOS DE OPERACION ) 63  
Sistema de carga. Factores de regulación de la marcha del proceso. Equipo e instalaciones. Detenciones del alto horno. Mantenimiento preventivo. -- Función del personal.
- VII. FORMACION Y ROL DE LA ESCORIA 85

*Indice de basicidad.- Caracteristicas mineralogicas de las escorias. Accion desulfurante. Reparticion del azufre entre el arrabio y la escoria. Practicas de desulfuracion. Efecto del volumen de escoria.*

- VIII.- *LOS SUBPRODUCTOS DEL ALTO HORNO* 92  
*El gas de alto horno. La escoria. El polvillo de alto horno.*
- IX.- *PRINCIPALES PERTURBACIONES EN EL ALTO HORNO* 96  
*Enfriamiento del crisol. Zonas recalentadas. Apilamiento central. Adherencias. Golgamientos de la carga. Desplomes o corridas de carga. Ruptura de paredes. Bloqueo de colectores de gas.*
- X.- *EL CAMBIO DE REVESTIMIENTO DEL ALTO HORNO* 107  
*Planamiento de los trabajos. Objetivos del comite. Ventajas. Secuencia de trabajos principales.*
- XI.- *CONCLUSION.* 110

## INTRODUCCION

El proposito de este trabajo es exponer en forma sencilla, las bases teóricas en las que se apoyan las practicas de operación para el manejo de equipo, instalaciones y demas elementos que constituyen el alto horno, haciendo una descripción del mismo considerando construcción, materias primas, funcionamiento, productos obtenidos y soluciones practicas a problemas.

Las dificultades ocasionadas por el crecimiento demográfico, el agotamiento de materias primas de alta calidad, la escasez de las mismas, la falta de energéticos y la necesidad creciente de la población de lograr mejores condiciones de vida, ha influido directamente en la necesidad de buscar caminos para obtener productividades cada vez mayores en la industria siderúrgica, industria básica en la que se apoya en buena medida el desenvolvimiento económico y social de los países.

Ha sido preocupación constante del ingeniero en sus respectivas actividades dentro de la industria siderúrgica, producir con mejores eficiencias, racionalizando el uso de materias primas y los energéticos, aprovechando los subproductos, re-usando los materiales de desecho, incrementando el tamaño de los equipos, mejorando los diseños y las condiciones de operación de los mismos, adiestrando a los operadores.

## 1.- RESEÑA HISTORICA DE LA SIDERURGIA.

Nó es posible determinar cuando el hombre utilizó por vez primera el fierro, ya que dicha fecha pertenece a la prehistoria. Los métodos más elementales y rudimentarios para la extracción del fierro, de sus minerales tuvo su nacimiento mucho después. Los estudios arqueológicos han podido establecer con cierto margen de duda, que el fierro ha estado en uso desde unos 5000 años, habiendo indicios de su empleo por parte de los egipcios en la construcción de las pirámides unos 3000 años antes de Cristo. Se sabe con certeza que los hebreos asirios y griegos lo empezaron a usar unos 1400 años antes de Cristo. Los romanos copiaron de los griegos el arte de obtener el fierro de sus minerales, dándole mucho uso, ya que constituía el principal elemento en la fabricación de sus armas guerreras que tanto contribuyeron en sus conquistas territoriales.

Durante la ocupación de las islas Británicas por los romanos, la industria del fierro tomo gran importancia. Por ese entonces, y durante varios siglos, el fierro se obtenía calentando mineral con carbón de leña, en una parrilla abierta, hasta formar una pequeña masa esponjosa que era trabajada y formada a golpes de mazo.

Entre los años 1000 y 1200 de nuestra era se desarrollo y empleó el que puede considerarse el primer horno en la historia de la siderurgia, el llamado proceso catalán, este consistía en un pequeño horno hecho de mampostería de piedra con un fuelle operado a mano para inyección de aire frío.

En la parte inferior, se disponía el carbón de leña y sobre éste el mineral de fierro en trozos, perfectamente --

apilados para permitir el flujo de aire y gases reductores. El hierro reducido y en estado casi puro se obtenía en forma de una masa esponjosa a la que se le daba forma, forjándola fuera del horno; por tal motivo se conoce este proceso también con el nombre de forja catalana. Hacia el año de 1350 tuvo lugar en Europa central el desarrollo de un horno que logró obtener por vez primera el hierro al estado líquido por reducción del mineral, el cual era vaciado en camas de arena, para posteriormente refundir el material y darle la forma final. Este puede considerarse la base original del primer alto horno ya que consistía en dos troncos de cono unidos por su base cargándose por la parte superior mineral fundente y carbón de leña. Recolectándose en la zona inferior el metal líquido y la ganga escoriificada.

Este método fue introducido en Inglaterra alrededor de 1 año 1500, y en 1619 se usó por vez primera como combustible el coque proveniente de carbón mineral.

El primer horno construido en América del norte lo fue en 1622 operando hasta el año de 1635; hablando de éxito, el horno de Saugus, en Massachusetts, fue mejor, el cual inició su trabajo en 1645 manteniéndose en funciones hasta 1675 en que fue abandonado.

Hasta el año de 1857, en que el inglés Comper diseñó y construyó la primera estufa para precalentamiento del aire, el progreso de la siderurgia, en relativo a los procesos básicos de reducción de los minerales de hierro se había más o menos mantenido; pero con la introducción de la técnica de insuflar aire caliente mediante el aparato men-

cionado cobró un gran impulso la elaboración del arrabio, - por el descenso de los costos, producto del ahorro de combustible, paralelamente se inició la construcción de altos hornos cada vez más grandes y de diseños mejorados.

En el presente siglo y en particular el año de 1950, + en adelante, el alto horno ha experimentado un avance impresionante, ello debido especialmente a la incorporación de nuevas técnicas y desarrollo de nuevos equipos, lo que puede resumirse en lo siguiente;

- a) Beneficiación de las materias primas (sinter, caliza, pellets).
- b) Más alta temperatura de soplo por mejoramiento de la calidad de los refractarios de las estufas.
- c) Mejoramiento de los refractarios para el horno (crisol de carbón, estalajes menolfticos).
- d) Inyección de hidrocarburos (gas natural, petróleo, alquitran, carbón pulverizado).
- e) Coke metalúrgico de alta calidad (bajo en cenizas, bajo en azufre, gran resistencia mecánica).
- f) Control de carga mediante aparatos de diseño avanzado (programador electrónico, muestreadores automáticos, analizador continuo de gases).
- g) Adición de humedad y oxígeno al soplo, lo que ha permitido una mayor eficiencia en el control térmico de proceso.

Los puntos señalados, engloban los diferentes factores que, en mayor proporción son responsables de las elevadas producciones y extraordinarios rendimientos que están logrando los altos hornos en la actualidad. Es así que, en el



~~presente y existen unidades que a través de 10 o 12 picas el día están produciendo sobre 5000 toneladas, con consumos de coke que no llegan a 0.5 Tns./Tonelada de arrabio.~~

Es más, en un futuro próximo se piensan poner en operación altos hornos capaces de entregar entre 8000 y 10000 toneladas métricas de arrabio por día; cifra que tan sólo una década atrás, nadie se hubiese atrevido a pronosticar.

En cuanto al desarrollo histórico de la siderurgia en --  
Latinomérica cabe destacar que la Compañía Fundidora de Hierro y Acero de Monterrey S.A. fué la primera en construir y --  
operar un alto horno, de los inicios de la centuria; y a su --  
vez actualmente cuenta también con uno de los hornos más moderno de Latinoamérica.

## 11.- EL ALTO HORNO SUS ACCESORIOS DISEÑO Y CONSTRUCCION.

El diseño y construcción de un alto horno toma en consideración, las ideas básicas para la confección del proyecto original.

a).- La capacidad para la producción de la cantidad de  $\mu$  rrabio requerido, lo que determina las dimensiones del horno, y

b).- La disposición funcional y nivel de eficiencia según la calidad de los materiales de construcción, líneas de diseño y automatización del equipo propio y auxiliar, adecuada a las características de materias primas y conforme a la rentabilidad económica que se espera de la inversión.

Sobre este último es evidente que se tratará de instalar el equipo más moderno y durable que se pueda conseguir con el monto de capital disponible para la obra.

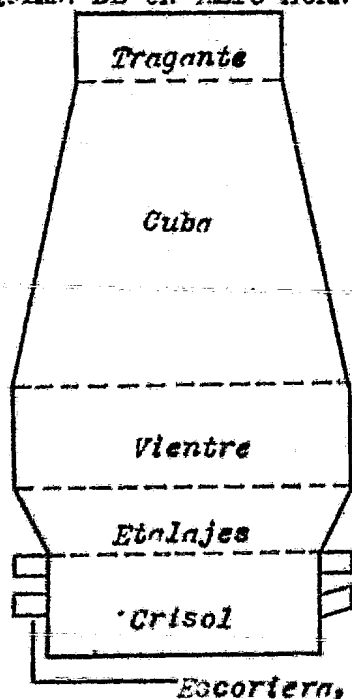
En cuanto a las líneas y perfiles de diseño de alto horno no podemos decir que ellas arrancan del antiguo horno de Saugus, manteniendo en la actualidad su constitución primitiva; este es, un horno vertical que en su formación, se compone de un cilindro cónico sobre el cual se ensambla dos troncos de cono opuestas por su base mayor; sin embargo, en el alto horno moderno la fundación de piedra apisonada ha sido reemplazada por concreto reforzado con varilla de acero, en un terreno que por lo general, ha sido mecánicamente consolidado; la mampostería de piedra es ahora una costra de acero revestida interiormente con ladrillo refractario; y la rampa para la carga-

ha sido reemplazada por montagargas movidos por un malacate eléctrico o bandas transportadoras. Los fuelles operados a mano por un caudal hidráulico han dado paso a los turbos sopladores accionados por vapor o energía eléctrica.

Extraordinarios progresos se han alcanzado con el empleo a elevadas temperaturas y el gas producido se somete a intensa limpieza para su mejor aprovechamiento. Las operaciones de abrir y cerrar el hoyo se realizan por medio de elementos mecánicos dirigidos a control remoto; y en fin, casi todas las maniobras se han simplificado en un menor esfuerzo humano y mayor seguridad.

Todos son atributos de un alto horno moderno, que constituye el tipo más grande y complicado de aparato metalúrgico siendo capaz de producir 5000 ó más toneladas de arrabio líquido cada veinticuatro horas, y consumiendo en dicho espacio enormes cantidades de materias primas. Existen hornos en Japón con capacidad de producción de 10000 tn./24 hs.

ESQUEMA DE UN ALTO HORNO



La figura adjunta muestra en forma esquemática las diversas partes de un alto horno.

Estas diferentes partes son las siguientes;

En la base está el crisol, donde se depositan el arrabio y la escoria, ambos al estado líquido.

Se indican las dos aberturas del crisol correspondientes al agujero de colada o pica de fierro y a la escoriera.

Tobéras

Agujero de colada

En los hornos de tamaños mayores vienen dispuestas dos escoriaeras y aún para los de más capacidad, dos hoyos de colada.

En la parte superior del crisol se encuentran dos aberturas donde desembocan los tobernas, por donde se hace llegar el aire caliente a presión.

El tronco del cono inferior y la posición invertida --- constituye los estalajes, sobre el que se distingue un sector cilíndrico llamado vientre y que es la zona de mayor diámetro del alto horno. El tronco de cono largo superior recibe el nombre de cuba y termina en tramo cilíndrico denominado tragante que es el punto por el que se realiza la carga de las materias primas. Se han hecho profundos estudios referentes a encontrar el mejor perfil del alto horno, habiéndose determinado una influencia muy clara de la forma de la producción y en la operación; es decir, por una parte sobre el tonelaje producido diariamente y por otra sobre la parte del coke consumida por tonelada métrica (T.M) de arrabio (Coke rate). Se ha puesto en evidencia, en particular la influencia de la relación entre la altura del horno y el diámetro del vientre, habiéndose determinado que la relación más conveniente es aquella en que la altura es 3.5 a 4 veces el diámetro del vientre. La altura misma está condicionada por las propiedades mecánicas del coke que quedan reflejados en el índice de estabilidad.

Diré algo sobre la construcción propia del horno.- son varios los tipos básicos de proyectos de altos hornos en uso actualmente, siendo el más común el proyecto convencional ó Americano en que el tops, constituidos por los colec-

tores de salida de gas, el mecanismo de carga y las plataformas respectivas, se soportan a través de la coraza de la cuba que descansa sobre un anillo circular (mantlering) sustentado a su vez por columnas empotradas en la fundición. Una modificación a éste proyecto, lo constituye el diseño Ruso, en el cual el tope descansa sobre columnas, las cuales se apoyan a su vez sobre el anillo soportante circular. Esto releva a la coraza de la cuba del esfuerzo correspondiente a la estructura del tope del horno. Por último, el diseño Japonés, en el que la cuba descansa libremente sobre los etalajes y el crisol, estando el tope del horno sustentado por columnas (por lo general cuatro) que descansan directamente en la fundación de la obra. Este diseño está encontrando amplia aceptación, ya que es uno de los más funcionales y prácticos, asegurando una disposición más compacta para el horno propiamente tal y permitiendo un amplio espacio libre alrededor del horno y a nivel del piso vaciado (basa de colada), lo que facilita la manipulación de los diversos elementos constitutivos del sistema de soplo y enfriamiento de la unidad. En cuanto al revestimiento, éste está compuesto de ladrillo refractarios, arcillosos, de contenidos variables de sílice y alúmina, según el nivel de la temperatura de trabajo en las diversas zonas de la cuba y etalajes siendo las características principales del ladrillo su alto punto de fusión o refractariedad; su condición es muy compacta, que lo hace resistente a la penetración de los gases y demás componente químicos del proceso, su elevada estabilidad mecánica para soportar la abrasión y desgaste de la columna de carga y su baja conductividad térmica, lo cual impide la excesiva pérdida de calor hacia el ext. por transmi

sión a través de las paredes.- Este ladrillo lleva insertado placas de cobre dispuestas horizontalmente por las cuales circula agua que sirve para darle el enfriamiento adecuado y proteger en mejor forma el revestimiento de carbono con enfriamiento por placas verticales o el sistema de cascada por libre flujo del agua. Toda la mampostería de refractario va protegida exteriormente por una fuerte coraza de acero que le da rigidez y resistencia necesaria a toda la instalación.

El revestimiento del crisol, por lo general, responde a dos tipos fundamentales de diseño.- Por un lado se tiene el crisol total de carbono, fondo y paredes de éste material con placas verticales de enfriamiento, o a la versión más actualizada y funcional de regadera o cascada externa, para este caso, cuando el diámetro del crisol supera los 8 m. (aproximadamente 26 pies) es recomendable para el logro de una mayor vida útil, el enfriamiento del fondo inferior del mismo mediante circulación forzada de aire. El otro diseño contempla el uso de material cerámico como revestimiento, en su totalidad o una combinación con bloques de grafito (carbono) para el fondo, siendo las paredes laterales de éste último material.

Respecto a las ventajas de un revestimiento sobre otro, cada vez toma más fuerza la idea que el carbono merced a la construcción de bloques más grandes y al uso de aglutinantes más efectivos, lo que impide que éste material flote; ofrece una mayor resistencia al ataque de la escoria y metal líquidos, con lo que se logra un rendimiento más prolongado - aún cuando la inversión es más elevada que para el caso del ladrillo cerámico.

Por último el crisol del alto horno de responder en su -

construcción o especificaciones muy rígidas y controladas; hasta en sus menores detalles, ya que cualquier falla que se origine en este sector de la unidad puede ser causa de accidentes muy graves y que por lo común, obligan al cambio total del revestimiento.

*Estufas o Regeneradores de Aire Caliente.*— Constituyen uno de los elementos o accesorios más importantes del alto horno y su diseño y cálculo de las dimensiones de éstos aparatos son un problema complejo ya que intervienen varios factores, entre los que destacan; la capacidad de producción del horno, el consumo de coque por tonelada de arrabio esperado, el volumen de aire a soplar, la temperatura de soplo, el poder calorífico estimado para el gas producido por el horno.

Conforme a esto se determina la altura y diámetro de las estufas, por lo común en número de tres por cada alto horno; la masa de ladrillos (checkers), sus características en cuanto a forma y calidad; el tamaño del ventilador para alimentar la cantidad necesaria de aire para combustión del gas; tipo de válvulas y las condiciones para su funcionamiento, ya sea que se operen por control automático, motorizado o manual.

El principio de funcionamiento de las estufas se basa en que, mediante este aparato, constituido por una cámara de combustión donde se quema el gas combustible, y de una estructura sobrepuesta de ladrillos refractarios por entre los cuales escurren los gases calientes de la combustión se logra un calentamiento efectivo de esta gran masa de refractarios, por los cuales y una vez alcanzada la temperatura deseada, mediante un cambio de posición de las válvulas se hace pasar una corriente de aire.— Este aire puede alcanzar así, una temperatu

ra superior a los  $1100^{\circ}\text{C}$  ( $1300^{\circ}\text{C}$  en SICARTSA) y de ahí se --  
 envía a las toberas, habiéndose mezclado previamente con aire  
 frío, para obtener el nivel de temperatura prefijado, y que --  
 puede variar entre los  $900$  y  $1100^{\circ}\text{C}$  o más según sea el caso.

Por lo general, en un sistema de tres estufas, es posi-  
 ble mantener la estufa en sople al horno por un período de 60  
 minutos, con lo cual los ciclos de combustión o calentamiento  
 resultan ser de aproximadamente 115 minutos, (deduciéndole 5  
 minutos para el cambio de estufas).

Aparatos de Limpieza del Gas.- Con el tiempo el gas del  
 alto horno ha encontrado empleo efectivo en diferentes unida-  
 des de una planta siderúrgica integral, ya sea las estufas --  
 del alto horno, calderas para generación de vapor, turbinas --  
 para energía eléctrica, calentamiento de hornos de coque, ca-  
 lentamiento de hornos de foso; con lo cual las exigencias de  
 limpieza para el gas han sido, cada vez más estrictas. De ahí  
 que el diseño de las instalaciones de un alto horno contemple  
 en forma cuidadosa el equipo destinado a la limpieza del gas,  
 considerando en especial dos factores; la eficiencia en la --  
 limpieza y la economía del proceso.

Los aparatos para la limpieza del gas incluyen corrien-  
 temente las siguientes unidades: el ciclón o colector de polvo  
 contiguo a los ductos de salida del horno, por donde el efec-  
 to combinado de la pérdida de velocidad y cambio en dirección  
 de la corriente del gas, decanta la mayor parte del material  
 sólido en suspensión.- El colector de gas, puede seguir un la-  
 vador, constituido por un cilindro relleno de piezas cerámi-  
 cas que obligan al gas a entrar en contacto con una lluvia de  
 agua, presentando una amplia superficie de contacto y favore-



ciendo el arrastre de las partículas y el enfriamiento de gas. A esto siguen los precipitadores electrostáticos con dos unidades en paralelo, en los cuales las partículas remanentes se cargan eléctricamente siendo atraídas por placas de polaridad opuesta y arrastradas por un ducha permanente de agua.- Este sistema siendo eficiente, requiere de una fuerte inversión en operación y mantenimiento.- En el último tiempo, los precipitadores han sido reemplazados con ventajas por los sistemas denominados Lavadores Venturi y Separadores de Placa Orificio, basados en el principio de la decantación de las partículas - por un cambio brusco en la velocidad del flujo de gases, lo que hace que aquéllas, por la diferencia de densidad respecto al gas adquieran mayor inercia y permitan ser separados por una lluvia de agua. El sistema en sí es muy efectivo, de bajo costo de instalación y fácilmente operable.

Como base para el diseño del sistema de limpieza de gas, se toma la capacidad de los ductos y aparatos aproximadamente el doble del equivalente al volumen máximo del aire de soplo.

#### *Piso o Casa de Carga.*

Es una de las secciones más importantes, como que algunos dicen, con justa razón la llamo "la cocina" del horno.- Aquí debe tomarse en consideración las necesidades para almacenar, pesar y movilizar al tope del horno, las cantidades de materias primas (mineral, coque y fundente) exigidas por el proceso para satisfacer el volumen de producción establecido.

El almacenamiento de materiales para uso inmediato se efectúa en tolvas, cuya capacidad conjunta debe cubrir un lapso de operación de 20 a 24 horas para el mineral de fierro y

los fundentes, y de 8 a 12 hr. para el coque, considerando que para este último material se ha previsto un abastecimiento más directo y expedito. Así si, se tiene un alto horno con una capacidad máxima de producción de 3000 toneladas por día y con un consumo de materiales, según las siguientes proporciones:

|                   |   |   |      |           |         |
|-------------------|---|---|------|-----------|---------|
| Mineral de Hierro | : | - | 1.55 | T.M./Ton. | arrabie |
| Caliza            | : | - | 0.16 | "         | "       |
| Dolomita          | : | - | 0.06 | "         | "       |
| Cuarzo            | : | - | 0.01 | "         | "       |
| Coke              | : | - | 0.75 | "         | "       |

La capacidad mínima calculada para las tolvas deberá ser para los respectivos materiales como sigue:

|                   |   |   |           |
|-------------------|---|---|-----------|
| Mineral de Hierro | : | $1.55 \times 3000 \times \frac{20}{24} =$ | 3900 T.M. |
| Caliza            | : | $0.16 \times 3000 \times \frac{20}{24} =$ | 400 T.M.  |
| Dolomita          | : | $0.06 \times 3000 \times \frac{20}{24} =$ | 150 T.M.  |
| Cuarzo            | : | $0.01 \times 3000 \times \frac{20}{24} =$ | 25 T.M.   |
| Coke              | : | $0.75 \times 3000 \times 8 =$             | 750 T.M.  |

En base a los pesos calculados es posible determinar el volumen de materiales que deberá ser coincidente con el volumen disponible en las tolvas, para lo cual bastará dividir los pesos por las respectivas densidades aparentes o "en pilas", según se indica a continuación:

|                      | Peso (T.M.) | Densidad (T.M./m <sup>3</sup> ) | Volumen Tolvas (m <sup>3</sup> ) |
|----------------------|-------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Mineral de Hierro: - | 3 900       | 2.30                            | 1700                             |
| Galiza               | 400         | 1.40                            | 290                              |
| Dolomita             | 150         | 1.40                            | 110                              |
| Guarzo               | 25          | 1.50                            | 20                               |
|                      |             |                                 | <hr/>                            |
|                      |             | Total: -                        | 2120m <sup>3</sup>               |
| Coke                 | 750         | 0.50                            | 1 500m <sup>3</sup>              |

Como puede verse, se requiere de un volumen de tolvas de aproximadamente 3 600m<sup>3</sup>, de las cuales cerca de un 40% estará destinada al almacenamiento del coque.

Las tolvas de materiales tienen descarga (manual o automatizada) por la parte inferior, cargándose las materias primas al carro-báscula, donde se pesan conforme a un programa preestablecido, para ser transferidos a los carros monta-carros que los llevan hasta el tope del horno para ser depositados en la campana, y de aquí al interior de la unidad.

El coque se criba, pesa y carga en forma automática y sin intervención del operador.

Todo el sistema de carga está gobernado por un programador electrónico el que facilita las operaciones y asegura el cumplimiento de las secuencias establecidas para la combinación en forma adecuada de los diversos materiales.

Diseños más avanzados y en actual desarrollo, contemplan la carga automatizada de todas las materias primas mediante el empleo de correas transportadoras, haciendo posible balancear los pesos de las mismas según su composición y de acuerdo a las exigencias del proceso.

**Sistema de Insuflación del Aire:** - La alimentación del -

aire se hace por máquinas de soplado, que pueden ser insufladoras a pistón, movidas por máquinas a vapor o por motores a gas; o la versión más moderna y funcional de las insufladoras centrífugas o turbo-compresoras, movidas por turbinas a vapor o a gas o por motores eléctricos. En general, las turbocompresoras, tienden a utilizarse en las grandes instalaciones debido a sus ventajas reales, como ser: Menos espacio, para las instalaciones, más potencia, mayor regularidad del flujo de aire y mayor control y flexibilidad en el manejo.

En todo trayecto de alto horno debe diseñarse el turbosoplador con las características de capacidad y presión de ejemplo en condiciones de asegurar la demanda máxima de producción del horno, ya que esta última está determinada directamente por el volumen de soplo.

Hornos de Alta Presión en el Tope.- El alto horno tradicional con una presión de los gases en el tope entre 1.5 a 2.0 lbs./pulg<sup>2</sup>. (0.10 a 0.15 Kgs/cm<sup>2</sup>).- Entre 1944 y 1952 la Republic Steel Corp. desarrolló pruebas para operar los altos hornos con presiones superiores a las habituales, buscando en esta forma aumentar la producción de arrabio. La idea se basa en el principio que para una determinada permeabilidad de la columna de carga que en condiciones normales admitirá un cierto volumen de soplo, sin que se perturbe el descenso regular de la carga, si a éste volumen de soplo se le somete a presión mayor que la habitual, se contraerá y será posible entonces aumentar el insuflado sin variar el volumen del flujo inicial, pero resultando en una mayor cantidad en peso de aire inyectado, y manteniendo la velocidad de flujo a través, de-

la columna de carga.- En resumen se estará quemando más coke frente a las tabernas, con lo que se acelerará el descenso y procesamiento de la carga, aumentando por tanto la producción de arrabio.

La tendencia actual es diseñar los altos hornos para operar por presiones en el tope entre 8.0 y 1.0 lbs./pulg<sup>2</sup> (1.4--Kgs/cm<sup>2</sup>), con lo cual, la producción en el primer caso respecto del horno convencional se habrá aumentado en un 15 % y en el segundo, hasta un 30 % aproximadamente.

La modificación del alto horno y algunos de sus instalaciones necesarias para permitir la operación con alta presión en el tope, presenta una serie de problemas en la ingeniería de diseño los que pueden resumirse así:

- a).- Debe proveerse la estrangulación en la línea de gas después del colector de polvo para lograr el aumento de presión en el tope; esto se consigue mediante una válvula de regulación del paso del gas (válvula del Septum) e por medio de un orificio de Placas Variables, en ambos casos controladas automáticamente para mantener la presión deseada.
- b).- Adaptación de las válvulas de escape en el tope --- (bleeder) para que mantenga la posición de cierre a alta presión y con control de accionamiento automático para permitir su abertura en caso de sobrepresiones.
- c).- Sistema de igualación de presiones en el espacio entre tres campanas para permitir el movimiento de estas conforme al programa de carga.
- d).- Acondicionamiento de las sondas e barras de prueba-

para evitar una excesiva filtración de gas sucio con el consiguiente desgaste de estos implementos.

Por último cabe señalar que si bien el sistema de alta presión en el tope lleva consigo un aumento de producción, la experiencia ha probado que no altera, en absoluto, el consumo de combustible por toneladas de arrabio producido (Coke-rate).

### III.- EL PROCESO DEL ALTO HORNO.

En éste proceso, descrito en su forma más simple, materiales conteniendo fierro son cargados por la parte superior de la cuba del alto horno, en proporción conveniente con fundentes y coke, en tanto que aire precalentado es alimentado « bajo presión a travéz de las toberas, en la base de los etalajes, este aire encuentra al coke con el cual entra en combustión. Los gases así producidos suben por el interior del horno y entran en contacto con la masa sólida de materiales que descienden lentamente a medida que las materias cargadas consumidas, el coke por combustión y el mineral por reducción y fusión.

Vamos pues a enfrentarnos en el proceso del alto horno con:

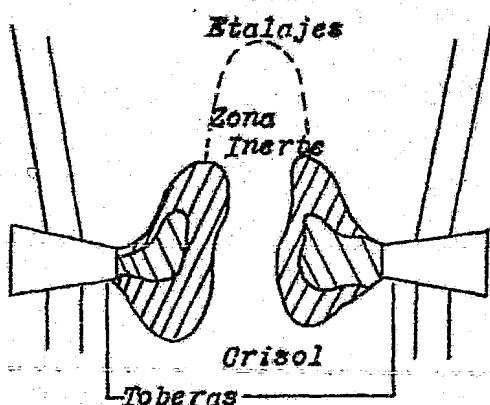
- a).- Una marcha o movimiento ascendente del gas, y
- b).- Una marcha o movimiento descendente de la carga.

Este movimiento combinado es el que se llama flujo en contra-corriente y es responsable de la alta eficiencia térmica del proceso. El monóxido de carbono, hidrógeno y nitrógeno proveniente de la zona de combustión y elevadas temperaturas ascienden hacia la sección superior del horno transfiriendo la mayor parte de su calor a la columna descendente de carga.- Algo de los óxidos de fierro son reducidos en la zona superior de la cuba donde la temperatura es relativamente baja- sin embargo, la reducción final del mineral, la desulfuración y la reducción parcial de la sílice ( $SiO_2$ ) tiene lugar en la parte inferior de los etalajes y en el crisol donde prevalecen las más altas temperaturas.

En el pasado, existía la tendencia a aumentar la altura-

de la columna de carga para mantener la temperatura de los gases de salida en el rango normal de  $150^{\circ}$  a  $200^{\circ}\text{C}$ . En la última década, gracias a la disponibilidad de mejores materias primas y el uso del material de tamaño uniforme, "petets, sintors" se ha logrado un contacto más efectivo entre los gases y sólidos de tal forma que se aumenta la capacidad de los hornos no ha sido necesario aumentar proporcionalmente la altura de la cuba. - Con estas materias primas beneficiadas, la transferencia de calor es más eficiente, aumentándose las velocidades de reducción de modo que el consumo de coque (coke-rate) ha disminuido y la producción de arrabio se ha incrementado.

ZONAS DE COMBUSTION FRENTE A  
TOBERAS



Combustión frente a las toberas. - Se piensa que la combustión frente a las toberas tiene lugar en dos zonas, como se muestra en la figura esquemática adjunta.

Según esta idea que es la más aceptada y que mejor cuadra

con la realidad, la combustión del carbono del coque por el aire puede representarse por medio de tres ecuaciones químicas. Pero antes, veremos las proporciones de los componentes que forman el aire. Como se sabe el aire atmosférico está formado principalmente de Oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y Nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) en los siguientes porcentajes:

$$\text{O}_2 = 21 \%$$

$$\text{N}_2 = 79 \%$$



Por lo que cada parte de  $O_2$  se tendrá:

$$\frac{79}{21} = 3.76 \text{ partes de } N_2.$$

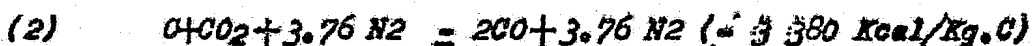
Osea que en un volumen cualquiera de aire, siempre se tendrán los componentes en proporción de 3.76 partes de nitrógeno por cada parte de oxígeno.

Las ecuaciones mencionadas son las siguientes:

Zona A: Aire



Zona B:



Ecuación final:



En la zona que hemos denominado A, la reacción (1) se extiende en un área que penetra aproximadamente un metro (30 pulgadas) hacia el interior del horno desde la nariz de las toberas, desprendiéndose 7780 Kcalorías por cada kilogramo de carbono consumido. El  $CO_2$  formado reacciona en la zona B con más carbono del coque, según la ecuación (2), para dar origen al CO y absorbiendo 3380 Kcalorías/Kg.C, de donde el resultado final, se tiene en la ecuación (3) que combina los dos anteriores, con una generación de calor equivalente a 2200 Kcaloría por cada Kg. de carbono que se consume.

De aquí mismo podemos obtener, por un cálculo simple, cual es la composición del gas reductor en la sección inferior de los estalajes: Así de la ecuación (3) se ve que el gas está formado de dos partes de monóxido de carbono (CO) y 3.76 partes o volúmenes de nitrógeno ( $N_2$ ), lo que nos da un total de 5.76 partes o volúmenes de gas reductor con los siguientes porcentajes:

$$\text{CO} = 2.00 \text{ partes} = 34.7 \%$$

$$\text{N}_2 = 3.76 \quad " \quad = 65.3 \%$$

$$\text{Gas reductor} = 5.76 \text{ partes} = 100.0 \%$$

Este gas reductor asciende y arrastra consigo una considerable cantidad de calor, el que le va transmitiendo en su contacto a la carga que desciende, determinando los niveles de temperatura decrecientes a medida que sube por la cuba, cumpliendo al mismo tiempo con la importante misión de reducir los óxidos de fierre mineral.

La función del gas de transferir gran parte de su calor a la columna de materiales, constituye el "precalentamiento de la carga" y de su eficiencia dependerá, fundamentalmente, que en el interior del horno se logre el balance de energía indispensable, para que se cumplan las reacciones de reducción del mineral con la formación del mineral con la forma de fierre y escoria líquidas, y por consiguiente una marcha estable y regular para el proceso.

Debe admitirse que las reacciones anteriores contemplan el uso de aire seco; pero en la práctica surge una pequeña complicación ya que este aire lleva consigo cierta cantidad de humedad o se le ha adicionado algo de vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) con lo cual se produce además la reacción siguiente;

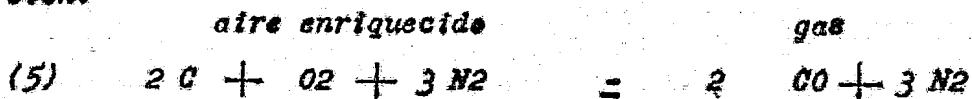


Aquí, el vapor de agua en contacto con el carbón del coque, lo combustiona, absorbiendo 2 615 Kcalorías por cada Kg. de coque consumido y liberando un gas de gran poder reductor formado por monóxido de carbono e hidrógeno. Esta reacción,

al aumentar la capacidad reductora del gas acelera el proceso de tratamiento del mineral de hierro aumentando la producción de metal líquido, pero como consumo de calor, debe aumentarse la temperatura de soplo para restituir ésta pérdida y mantener así equilibrado el sistema.

Ahora si el aire de soplo se enriquece con oxígeno, se acelera la combustión de coke, generando una gran cantidad de calor, con lo que la temperatura en la zona de combustión -- frente a las toberas se eleva rápidamente, ya que proporcionalmente se producen menos gases reductores y por lo tanto el arrastre de calor hacia las zonas altas del horno es menor.

Supongamos que se ha enriquecido el aire un 21 % a un 25 % de oxígeno, lo que se representa por la siguiente ecuación:



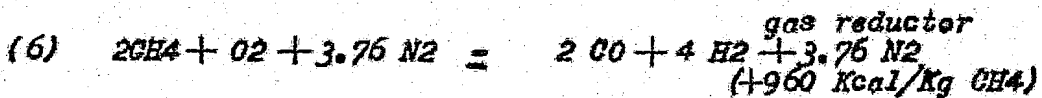
es sea, para el aire enriquecido, por cada parte de  $\text{O}_2$  se tienen tres partes de nitrógeno, con lo cual los porcentajes presentes en la mezcla son 25% de  $\text{O}_2$  y 75 % de  $\text{N}_2$ . Si comparamos la ecuación (5) de este ejemplo con la ecuación (3) en la que se ha usado aire atmosférico; veremos que para el caso de aire enriquecido se producen 5 partes e volúmenes de gas reductor, en tanto que para el aire normal, se generan 5.76 volúmenes, con lo cual se tendrán:

$$\frac{5.00}{5.76} \times 100 = 87 \% \text{ del volumen total de gases que ascienden,}$$

lo que explica el menor transporte de calor para el precalentamiento de la carga y una mayor concentración térmica en los estalajes.

Por último veremos el efecto de la adición de gas natural al aire de soplo.- El gas natural está formado casi totalmente por metano, un compuesto combustible que responde a la fórmula  $CH_4$ , y cuya producción, en grandes cantidades está asociada a la explotación petrolífera. De ahí su bajo precio y su amplia disponibilidad, lo que lo hace un excelente reemplazante para el coke, aún cuando éste reemplazo es limitado.

La ecuación de combustión del gas natural inyectado al alto horno por un punto cercano a la nariz de las toberas, al entrar en contacto con el aire precalentado, es la siguiente:



Puede observarse que los productos de la combustión de gas natural o metano constituyen un poderoso reductor, sin embargo aún cuando la reacción se cumple con desprendimiento de calor es menor al desarrollado por la combustión del coke, lo cual obliga a compensar esta diferencia elevando a su vez la temperatura del viento de soplo. Esto constituye una limitación a la cantidad de gas natural que se puede inyectar en reemplazo de coke, además de la carencia de espacio suficiente para quemar frente a las toberas una mayor proporción de este combustible.

En cuanto a los diferentes niveles térmicos que se presentan en un alto horno por efecto de la combustión del coke y gas mediante el aire humedecido y caliente. Vemos que la repartición de temperatura desde lo bajo hasta la parte alta es bastante regular. Alcanza entre  $1\ 900$  y  $2\ 100^\circ C$  en la zona de combustión frente a las toberas; luego desciende rápidamente a  $1500-1600^\circ C$  en la parte alta de los estalajes o zona de fu-

si6n; y disminuye gradualmente hasta el tercio superior de la cuba donde se descomponen los carbonatos que forman el fundente, a una temperatura que va de los 800 o los 1000°C; para -- terminar en la parte m6s alta de la cuba y que corresponde al tragante, con temperaturas que fluctúan entre los 200 y 400°C.

*Marcha descendente de la carga.*— La velocidad de la columna descendente de materias primas es mucho m6s lenta que -- la de la columna ascendente de gases.— A medida que descien -- den los s6lidos son gradualmente calentados, preparados y re -- ducidos, de modo que al alcanzar la parte baja de los estala -- jes, se encuentran a la forma de fierro reducido, escoria par -- cialmente fluida y coke.— El coke permanece practicamente in -- alterable hasta que llega al nivel de toberas, en que tiene -- lugar la combusti6n.— En la zona de toberas la temperatura -- es suficientemente elevada para fundir el fierro y la escoria, que escurren al estado lquido a trav6z de 6sta zona, recolec -- t6ndose en el crisol del horno, de donde son extra6dos a in -- tervalos regulares segun las necesidades determinadas por la -- operaci6n.

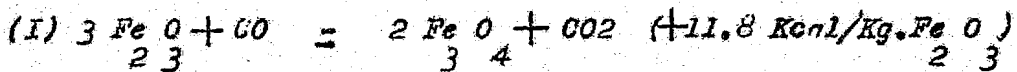
En el tragante del horno, en que, como se dijo, la tempe -- ratura var6a entre los 200 y 400°C, son expelidos la humedad y el agua en combinaci6n de los materiales.

El mineral de fierro est6 formado, habitualmente, por -- proporciones variables de dos tipos de 6xidos.— El 6xido f6 -- rrico o hematita de f6rmula  $Fe_2O_3$ ; y el 6xido ferroso o mag -- netita de f6rmula  $Fe_3O_4$ . La reducci6n del mineral de fierro -- por el mon6xido de carbono comienza en cuanto es cargadas al interior del horno, o sea a una temperatura cercana a los -- 200°C y en general se acelera a medida que aumenta la tem --

peratura a los 200°C, y en general se acelera a medida que aumenta la temperatura, teniendo lugar la reducción en las siguientes etapas:

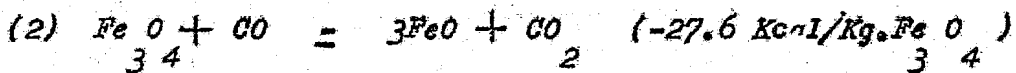


Revisando con más detalle estas reacciones, tendremos lo que sigue:



Esta reacción, por la cual la hematita es reducida a magnetita tiene lugar a baja temperatura (300°C) y se cumple con desprendimiento de calor (es exotérmica) equivalente a 11.8 Kcal. por cada Kg. de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  que se reduce a  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

Este  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  a su vez, es reducido a óxido ferroso de fórmula  $\text{FeO}$ , según la ecuación:



Aquí se produce absorción de calor, equivalente a 27.6 Kcal. por cada Kg. de magnetita que es reducida a óxido ferroso.

Este óxido ferroso al encontrarse con temperaturas más elevadas y en presencia del monóxido de carbono, se reduce a hierro metálico, absorbiendo 54.2 Kcal/Kg. de  $\text{FeO}$ , de acuerdo a la ecuación:



Las tres ecuaciones descritas resumen el desarrollo y los efectos térmicos de la fase principal del proceso de alto horno, que es la reducción de los óxidos de hierro del mi-

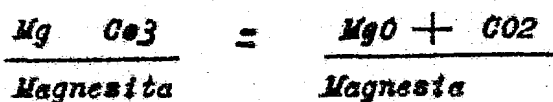
neral cargado, por medio del agente reductor, monóxido de carbono; siendo este tipo de reducciones las más favorables para el rendimiento del horno desde el punto de vista del consumo de combustible y recibe el nombre de "reducción indirecta".

Sin embargo, el FeO solo es reducido parcialmente por reducción indirecta, ya que la ecuación indirecta, ya que la ecuación (3) tiene lugar a alta temperatura, en niveles en que el carbono del coque es activo, y tiende a reducir, por contacto directo al FeO, según la ecuación.



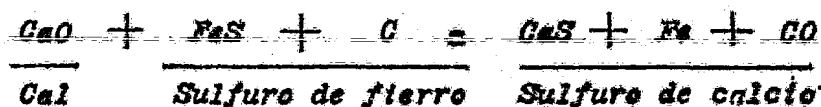
Esta reacción consume una gran cantidad de calor (es fuertemente endotérmica), comparativamente casi 10 veces al correspondiente a la ecuación (3) y se denomina "reducción directa".

Otras reacciones que tienen lugar en el proceso del alto horno son: a).- Calcinación de Carbonatos:



(componente de Dolomita).

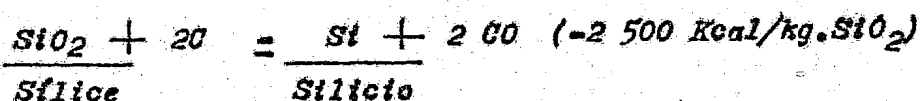
b).- Desulfuración del arrabio:



c).- Reducción de óxido de Manganeso:



a).- Reducción de la sílice:



Esta última reacción tiene especial importancia porque significa un consumo elevado de coque, ya que absorbe calor en proporción de 2500 Kcal. por cada Kg. de sílice que se reduce de la escoria y que pasa el arrabio líquido a la forma de silicio.- Es así entonces, que cuanto mayor el porcentaje de silicio en el metal, menor será la eficiencia, térmica de la unidad.

Vale decir que la reducción de la sílice está favorecida por la alta temperatura y por una baja proporción de los componentes básicos o alcalinos de la escoria.

Producción y consumo en el proceso.- A continuación y como datos ilustrativos veremos la proporción en el consumo de los diferentes materiales que participan en el proceso del el te horno para obtener como base 1 Tonelada Métrica (1000Kgs.) de arrabio, y las cantidades de subproductos que se logran.

Consumos Mineral de Hierro 1450 a 1650 Kgs.

(o carga metálica)

Caliza 160 a 250 "

Dolomita 60 a 100 "

Coke 550 a 750 "

Aire 1350 a 1850 "

Productos

Arrabio 1000 Kgs.

Gas 1900 a 2600 m<sup>3</sup>

Escoria 250 a 400 Kgs.



Los rangos de variación que se señalan obedecen a las fluctuaciones en el contenido férrico de los diferentes minerales o cargas metálicas, las diversas calidades de coke y sus contenidos de cenizas, así mismo, como las variantes en la composición de los fundentes.

*Balance de calor para el proceso.*- También resulta de interés consignar una distribución típica de la energía o balance de calor para el proceso del alto horno, que muestra en forma aproximada las cifras porcentuales respecto del calor alimentado a la unidad y la forma como éste se consume durante la operación.

Es necesario decir que la distribución del calor puede variar mucho de un horno a otro, ya que tienen gran influencia en este aspecto: Las características de los materias primas y en particular del coke, la inyección de hidrocarburos (gas natural) y humedad, la temperatura del aire de soplo; la composición del arrabio y escoria, como ejemplo tenemos aquí una distribución de calor correspondiente a un alto horno con una eficiencia satisfactoria.

*Calor Alimentado:*

|                            |   |         |
|----------------------------|---|---------|
| Combustión del coke        | = | 78.0 %  |
| Combustión del gas natural | = | 4.0 %   |
| Calor del aire de soplo    | = | 18.0 %  |
| <hr/>                      |   |         |
| Calor total alimentado     | = | 100.0 % |

**Calor consumido**

|   |   |       |
|---|---|-------|
| Calor absorbido en Reducción de los óxidos de Hierro. | = | 48.4% |
| Calor absorbido en reducción de la Sílice.            | = | 3.1%  |
| Calor para calcinación de Carbonates.                 | = | 4.3%  |
| Calor para reducción del óxido de Mn.                 | = | 1.2%  |
| Calor arrastrado por los gases.                       | = | 2.1%  |

**Calor consumido**

|   |          |               |
|---|----------|---------------|
| Calor para disociación del agua           | =        | 5.3%          |
| Calor arrastrado por la escoria           | =        | 5.8%          |
| Calor arrastrado por el arrabte           | =        | 9.6%          |
| Calor absorbido por agua de enfriamiento. | =        | 2.9%          |
| Perdidas por transmisión y Otras          | =        | 17.3%         |
| <b>Calor total consumido</b>              | <b>=</b> | <b>100.0%</b> |

#### IV.- PROCEDIMIENTO DE LA CARGA DEL ALTO HORNO.

Ya se había mencionado la importancia de los elementos que integran el piso de carga y el sistema de alimentación de los materiales al tope del alto horno. Veremos ahora, la disposición de la carga en el interior de la unidad y la influencia que esto representa en la marcha eficiente del proceso.

Uno de los factores principales que determina la productividad del alto horno es la cantidad de gas que asciende por la cuba, en contra-corriente al movimiento descendente de la carga de material sólido. Si consideramos, en un momento dado todos los otros factores como constantes o invariables, resulta entonces que la corriente de gas que pasa a través de la columna de carga es directamente proporcional al volumen de viento de soplo. En consecuencia la máxima producción para un determinado tipo de carga será función del máximo de soplo que pueda usarse. La cantidad de gas, que puede ser admitida, en un cierto alto horno está a su vez, determinada por la forma o tamaño de las partículas, que constituyen la carga como también la distribución de estos materiales en el interior de del horno. Estos factores afectan no sólo la productividad sino que además, el consumo de combustible (coke) para el proceso.

*La distribución de carga y su efecto en la operación.*

Aún cuando el alto horno es en sí un proceso continuo, la carga de las materias primas y el vaciado del metal líquido y escoria acumulados en el crisol se efectúan por lapsos de tiempo o en forma intermitente. Lo ideal sería poder alimentar al horno de un modo continuo, conforme se quema el coke frente a las toberas, y se produce el descenso regular de ---

la columna de carga, lo que no ha sido posible lograr hasta el momento por problemas técnicos derivados de los siguientes factores: el volumen que involucra la carga combinada de las diferentes materias primas; el control ajustado del descenso de la columna de carga; y la necesidad de no exponer directamente la zona del tragante a la atmósfera, lo que provocaría explosiones de gas. Sin embargo en la práctica presente los componentes de la carga se acumulan en la campana grande hasta completar el ciclo programado y cuando la columna de materiales ha descendido en el interior del horno, dejando suficiente volumen libre en el tragante para acomodar la carga retenida sobre la campana, ésta es abierta permitiendo la entrada del material al horno. El nivel que debe descender la columna de materiales entre ciclo y ciclo de carga depende de del tamaño de la carga, del diámetro del horno y del volumen de sople con que se opere el horno, pero generalmente varía entre 0.5 a 1.0 metros (2 a 4 pies).

A medida que el movimiento descendente de la carga continúa, el proceso se repite.

La mayoría de los altos hornos en la actualidad están equipados con algunos de los diferentes diseños de distribuidor rotatorio (canalón) aquéllas unidades que operan con una alta proporción de pelets de tamaño uniforme en la carga, producen de este aparato.

Después de cada carro o "skip" de material, es vaciado sobre la campana chica, ésta en conjunto con la tolva receptora giran en un prefijado arco de circunferencia antes de abrirse y descargar el material sobre la campana grande.

Los ángulos de distribución son, habitualmente, 0°, 60°, 120°

180°, 240° y 300°.

Podemos explicar la función y el objetivo del distribuidor de carga de la siguiente manera: si no rotara la campana chica, la mayor parte del material caería al interior del horno directamente bajo el punto en que es descargado desde el "skip" y que corresponde a una posición fija.

Esto causaría una alta concentración de finos en un lado del horno, y como los finos ofrecen mayor resistencia al paso de la corriente de gas, gran parte del gas fluiría por el lado opuesto del horno.

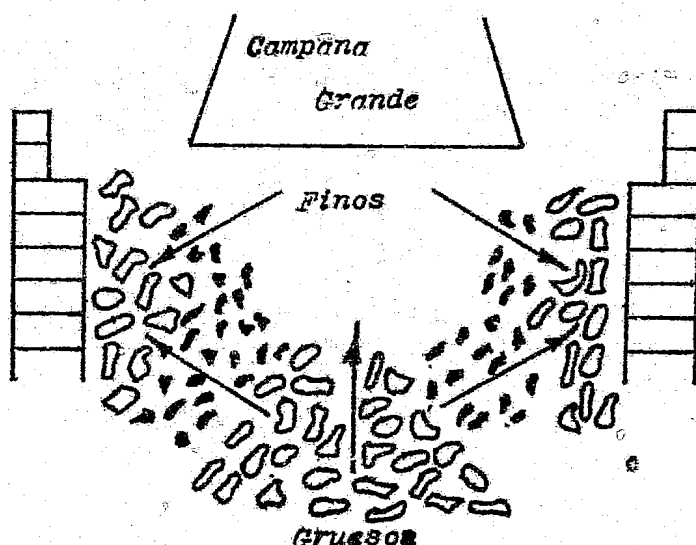
El resultado sería un desgaste prematuro del revestimiento por un lado y la formación de incrustaciones en el lado opuesto. Además, bajo tales condiciones el horno operaría con un descenso irregular de la carga y puesto que no se estaría ocupando el volumen total disponible de la caba, la canalización del gas daría un contacto con los sólidos muy deficiente, disminuyendo su poder reductor con el consiguiente aumento -- del consumo de coke.

A medida que el material es descargado y pasa desde la campana grande al interior del horno, las partículas más grandes (grueso o granado) tienden a rodar más que las pequeñas (finos).

Por lo tanto el material de mayor tamaño se concentra hacia el centro y las paredes del tragante, entando que los finos se acumulan en un anillo directamente bajo la circunferencia de la campana grande, tal cual se muestra en el esquema adjunto. El operador del horno deberá tratar de controlar y disminuir, en cuanto sea posible, este fenómeno conocido con el nombre de segregación, ajustando la secuencia de los dife-

rentes tamaños de los materiales en cada carga.

DISTRIBUCION DE MATERIALES EN LA ZONA  
DEL TRAGANTE DEL ALTO HORNO



Si gran parte de los finos se encuentran en una columna anular que se extiende en toda la altura de la cuba, el gas ascenderá por el centro y hacia los costados del horno. Por otra parte, si los finos son concentrados hacia los lados del horno, la mayor parte de la corriente de gas fluirá por el centro, donde prevalece el material grueso o granado.

Puesto que los pedazos de tamaño grande corresponden, predominantemente, al coque y las partículas pequeñas, al mineral, el mayor flujo de gases pasará a través del coque en el centro del horno efectuando la reducción del mineral de hierro lo que se verá disminuida.

En general, el material que se dispone en primer lugar sobre la campana grande se concentrará en las proximidades de las paredes del horno de modo que si el coque se carga primero, segregará hacia los costados y el flujo de gases en dicha zona será mayor que por el centro.

Esto determinará un aumento de la temperatura del refractario de las paredes por el mayor arrastre de calor por el gas hacia dicho sector del horno.

La práctica de cargar el coque en primer lugar demanda un mayor consumo de combustible; sin embargo, en ciertos momentos es recomendable operar así, ya que ayuda a eliminar las incrustaciones laterales por el poder abrasivo del coque.

El problema de establecer el mejor sistema o ciclo de carga para un alto horno es complejo y la mayoría de las veces requiere de ensayos para determinar en la práctica el método más favorable, conforme las reacciones que manifieste el horno a través de algunos indicadores muy útiles, cuya interpretación analizaremos más adelante. En todo caso veremos aquí las secuencias de carga más usadas y los efectos que producen cada una de ellas en el proceso del alto horno. Así tenemos los siguientes ciclos de carga:

a).- Ciclo mixto o combinado.- Para designar los ciclos de carga, se acostumbra emplear letras representativas para cada material y correspondiente a cada carro o "skip" que forma en el ciclo o secuencia que se remata con la apertura de campana grande (a c g).

Así las materias primas quedan simbólicamente representadas por las siguientes letras:

|                   |   |   |
|-------------------|---|---|
| Mineral de fierro | = | M |
| Fundente          | = | F |
| Coke              | = | C |

Un ejemplo típico del ciclo mixto o combinado es éste:

M C M F C / a c g  
C F C M C / a c g

lo cual constituye una carga completa, y que corrientemente se abrevia así:

M C M F C / C F C M C /

Este tipo de secuencia se usa con ventajas cuando el mineral tiene un contenido alto de finos, ya que la posición de los "skips" de coque en ambas partes del ciclo de carga (entre aberturas de campana grande) tiende a una repartición uniforme en toda el área transversal de la cuba, con lo que se asegura la permeabilidad en todos los sectores evitando la canalización de los gases.

b).- Ciclo normal o regular.- El ciclo normal corresponde a las siguiente secuencia de carga:

M M F C C C / a c g

Por lo general, este ciclo da como resultado un aprovechamiento muy satisfactorio de la capacidad reductora del gas, lográndose un bajo consumo de coque.

Sin embargo, en ocasiones el horno no responde bien, dificultándose el descenso de la carga y desarrollándose sobrepresiones que obligan a discontinuar su uso.

Una variación muy usada del ciclo normal es a la forma de carga doble:

M M C C / M F C C /

Este método de carga tiene la ventaja de utilizar a su máximo capacidad y en forma compensada el equipo de carga ya que distribuye equitativamente el coque proveniente de los dos sistemas de tolvas.

El ciclo normal o regular da muy buenos resultados, cuando el contenido de finos en el mineral es bajo, ya que parte de éstos son proyectados hacia las paredes, lo que sirve para



proteger el revestimiento sin llegar a formar incrustaciones.

c).- *Ciclo invertido.*- En el ciclo invertido del coque se carga en primer lugar. Un ejemplo de este tipo de secuencia es:

C C C F M M / a c g

En el ciclo invertido, la mayor parte del coque se concentra en la proximidad de las paredes del horno con lo que se obtiene un flujo periférico de gases.

Algunos operadorea sostienen que esta secuencia de carga provoca un desgaste más o menos intenso del revestimiento si se opera permanentemente o por períodos prolongados con carga exclusivamente invertida. Sin embargo, se ha encontrado muy útil para combinarlo ocasionalmente con el ciclo normal, ya que facilita la limpieza de las paredes interiores de la unidad.

Con materiales que tienden a formar adherencias laterales, como en el caso sinter autofundente o coliza, este método de carga debe ser usado en forma permanente.

d).- *Ciclo estratificado.*- Consiste en cargar los diferentes materiales en forma separada de modo que se formen estratos o capas alternadas dentro del horno. Un ejemplo de este tipo de secuencia es el siguiente:

M M F / C C C /

El ciclo estratificado es adecuado cuando los materiales tienen un rango de tamaño controlado y más o menos similar. Tal es el caso cuando se usan pellets o mineral de hierro granado seleccionado por cribado; de modo que a medida que la carga metálica sea sometida a una más eficiente preparación - previa este método de carga tendrá mayor aplicación.

*Determinación del peso y preparación de la carga metálica.*

La determinación del peso de la carga metálica se realiza inicialmente tomando una proporción de mineral a coque - del orden de 2:1 (lo que equivale aproximadamente a un "Coke Rate" entre 800 y 900 Kgs/T.M. arrabio), asegurando así la operación del horno en "el lado caliente". Posteriormente y en forma gradual se va incrementando el mineral hasta alcanzar - la estabilización del proceso en el nivel deseado.

El cálculo de las cantidades de mineral de fierro y fundente que compondrán la carga se efectúa por el procedimiento del "balance de materiales" que consiste en establecer el peso de las diferentes materias primas que deberán alimentar al horno para obtener determinadas cantidades de productos (arrabio, escoria y pelvillo) con una cierta composición química. Para ello debe contarse con el análisis químico de los materiales que forman la carga y a su vez prefijar la composición de los productos, conforme a las reglas químicas de distribución de los componentes.

La base del cálculo debe considerar como constante e invariable el peso unitario de coque, lo cual determinará el equilibrio térmico del proceso, y a medida que este se desarrolle, si el horno muestra una tendencia definida a calentarse o enfriarse, el ajuste más corriente es rebajar o aumentar el peso de mineral de carga.

De aquí resulta que para lograr una operación equilibrada y eficiente del horno alto deberá vigilarse y atender con prontitud cualquier perturbación que se observe y que tienda a alterar la constancia y uniformidad en el peso de coque alimentado.

La cantidad de fundente, sea este caliza, dolomita o --- cuarzo se establece atendiendo a la composición del mineral y a la formación de la escoria, de modo que esta última contenga los componentes básicos necesarios (índice de basicidad) y el volumen suficiente para eliminar la cantidad de azufre indeseable y a su vez posea las características de fluidez requeridas para asegurar la marcha regular del proceso.

Por último veamos el caso de la carga metálica está constituida por materiales de diferentes propiedades y composiciones, debiéndose combinar en forma proporcionada.

En tal caso y según el ciclo escogido, habrá que tomar como base para la distribución 10 o 20 ciclos de carga según sea el porcentaje mínimo común múltiple representado por un skip de material metálico.

Un ejemplo aclarará esta idea.

Supongamos que se tiene un ciclo normal o regular de carga, constituido por M M F C C C / a c g, y que la carga metálica estará compuesta de 45 % de mineral, 30 % de pellets y 25 % de sinter.

Mineral = M : Pellets = P ; Sinter S ;  
y tomaremos como base para la distribución, los ciclos de carga, de modo que cada skip de mineral representará un 5 %, ya que se tiene un total de 20 skips lo que equivale a un 100 % o sea:

- 1) M M F C C C
- 2) P P F C C C
- 3) M M F C C C
- 4) S S F C C C
- 5) M M F C C C
- 6) P P F C C C
- 7) M S F C C C
- 8) M M F C C C
- 9) P P F C C C
- 10) S S F C C C

Luego se tiene:

|                        |   |       |
|------------------------|---|-------|
| 9 skips de mineral (M) | = | 45 %  |
| 6 " " pellets (P)      | = | 30 %  |
| 5 " " sinter (S)       | = | 25 %  |
| <hr/>                  |   |       |
| 20 skips en total      | = | 100 % |

## V.- LAS MATERIAS PRIMAS.

Hemos visto ya lo pertinente a los procedimientos para disponer la alimentación de la carga del alto horno, y nos preocuparemos ahora de analizar las diferentes características de los materiales que componen dicha carga, esto es las materias primas.

Si se examinan las causas que han motivado el extraordinario aumento de productividad y eficiencia térmica experimentada por el alto horno en los últimos años, habrá de convertirse en claro que el factor preponderante en el logro de estos objetivos han sido los esfuerzos tendientes a mejorar la preparación, selección y acondicionamiento de las materias primas. Esta preparación de los materiales que forman la carga del horno ha consistido, fundamentalmente, en la uniformidad en el rango del tamaño de los componentes; el mejoramiento de las características del coque y la precalentación del fundente a la forma de sinter calizo.

Un buen indicador del mejoramiento obtenido en el último tiempo en la relación entre las toneladas netas de arrabate producida por día y el área del crisol medida en pie<sup>2</sup>.

Si hubiéramos de fijar las condiciones para la carga de composición ideal, tendríamos que señalar que habrían de satisfacer los siguientes requisitos: Una elevada reducibilidad para la carga metálica, una reactividad relativamente baja para el coque, un tamaño lo más homogéneo posible, para asegurar una distribución uniforme del gas; un buen contacto gas sólido, y máximas transferencias de calor y proporción de reducción indirecta.- La regulación y control de los factores nombrados son de fundamental importancia.

Los beneficios derivados del uso, de una carga preparada se resumen en dos puntos básicos:

- 1).- Aumento de la productividad del alto horno y
- 2).- Reducción en el consumo de combustibles.

Pasamos ahora a analizar, por separado y con cierto detalle, las características tanto físicas como químicas de los diferentes componentes de las materias primas.

1.- **EL COKE.**- Se obtiene por la destilación, en ausencia del aire del carbón finamente molido. El carbón empleado en la fabricación del coke metalúrgico debe poseer ciertas condiciones que lo facultan para tal empleo, como ser: Alto contenido en carbono fijo; bajo contenido en azufre y cenizas; y propiedades plastificantes, que permitan la aglomeración de las partículas formando un producto duro y poroso.

Durante la destilación del carbón en las baterías de hornos, gran parte de la materia volátil se desprende a la forma de gas, tanto más sea prolongado el calentamiento, que conjuntamente con el azufre de índole orgánico, y que en algunos casos puede llegar al 60 % del total. El resto del azufre, como también las cenizas y el carbono fijo, permanecen inalterables en el producto final.

El gas, libre ya de la mayor parte de los subproductos, es excelente combustible, que se emplea en el calentamiento de los propios hornos de coke.

El coke producido es descargado en estado incandescente desde los diferentes hornos que forman las baterías a intervalos regulares y según un programa que se cumple estrictamente, ya que el tiempo de coquificación no sólo es determinante del volumen de producción, sino que influye en las propie-

*dades que manifestará el coke posteriormente en su uso en el alto horno.*

*En cuanto al papel que le corresponde el coke en el proceso señalaremos sus funciones principales:*

*a).- Mediante la combustión incompleta del mismo con el aire, provee el monóxido de carbono (CO) que es el agente reductor principal en el gas.*

*b).- Constituye el combustible que aporta entre un 75 y 85 % del calor necesario para fundir y mantener el estado líquido, tanto los materiales que forman el arrabio como la escoria, y además, el calor necesario para las reacciones de reducción de la sílice y óxidos de hierro y magnesio. El calor restante lo proveen el aire caliente entre un 12 a 20 % y la inyección de hidrocarburos entre un 3 a 8 %.*

*c).- Entrega de un 3.0 a un 4.5 % de carbono para formar el arrabio, y entiendo a recubrir las zonas superior del crisol e inferior de los estalajes con una capa de grafito que protege el revestimiento refractario de la acción química de la escoria líquida.*

*d).- Regular la distribución del flujo ascendente de gas reductor, ya que por tratarse de un material granado y de buena resistencia mecánica, que permanece en su estado sólido hasta alcanzar el nivel de combustión frente a las toberas, es determinante de la permeabilidad de la columna de carga.*

*A continuación, veremos cuales son las cualidades que debe reunir un coke para cumplir en forma adecuada con las funciones asignadas.*

*1).- Características Químicas:*

---

a).- *Carbono fijo.*- Deberá ser lo más elevado posible, -- ya que así, durante la combustión frente a las toberas, se tendrá el mayor desarrollo de calor por unidad de peso de coque alimentado al horno.

b).- *Contenido de Cenizas.*- Por contraposición, deberá ser lo más bajo posible, ya que las cenizas requieren ser fundidas y neutralizadas mediante la adición de fundentes, con un consumo de calor y aditivos en proporción al volumen de las mismas. Se considera muy aceptable un contenido en cenizas que vaya del 5 al 8 %.

c).- *Contenido en azufre.*- Por lo general de un 60 al 80% del azufre que entra al horno proviene del coque. De ahí la importancia que este elemento alcance una baja concentración en el combustible, pues su presencia afecta directamente la calidad del arrabio y la necesidad de su eliminación determina, habitualmente, el volumen de escoria, lo que a su vez influye en la productividad del horno y en el rendimiento calórico del mismo.

d).- *Reactividad.*- Es la mayor o menor afinidad que muestra el coque para combinarse con el oxígeno. En el caso del alto horno es común hablar de un buen coque, a éste respecto, -- cuando la reactividad es relativamente baja. Con esto quiere decir que la reactividad debe ser suficiente para que el coque se quemé bien al contacto del aire frente a las toberas, pero que no sea tan alta como para que reaccione fácilmente en reacción con el oxígeno del óxido ferroso.

## 2.- Características Físicas:

a).- *Granulometría.*- El tamaño óptimo para el coque está



ró en parte, influenciado por el tamaño de los otros componentes de la carga. Sin embargo, se considera como rango favorable el comprendido entre  $1/2''$  y  $3/4''$  como mínimo y  $3''$  como máximo. - Repetiremos que es muy importante la regulación y control del tamaño del coque a cargar en el alto horno, puesto -- que éste combustible es el que establece en mayor proporción la permeabilidad de la columna de carga.

b).- Índice de Estabilidad.- Constituye un ensayo físico que determina, la resistencia del coque a la degradación o pérdida de tamaño por el efecto combinado de la abrasión (desgaste por roce) y la caída. Esto es uno de los indicadores al -- que se le presta mayor atención, ya que refleja en forma fiel lo que será el comportamiento del coque en el interior del horno.

Así es que un determinado coque podrá mostrar al ojo del observador una conformación aparentemente satisfactoria, pero si su estabilidad resulta ser baja, creará problemas al ser cargado en el horno, ya que perderá su tamaño inicial, tendiendo a pulverizarse, lo que afectará la permeabilidad de la columna de carga, dando un descenso irregular de la misma.

c).- Dureza.- Es el mayor ensayo del coque que mide a través de éste factor, la resistencia de éste material al impacto. No es tan representativo como el índice de estabilidad, y debe tomarse, justamente, asociado a éste último para tener una evaluación más exacta de las cualidades mecánicas del coque. Así, se considera satisfactorio un factor de dureza de 65 ó más, cuando el índice de estabilidad correspondiente se eleva sobre 50.

d).- Densidad Aparente.- También designado por peso volu

métrico y que mide el peso por unidad de volumen del coke en pila, tal cual se presenta antes de ser cargado al horno. Debe tratarse que éste valor se mantenga lo más constante si el control de la carga de coke se efectúa por volumen, conforme la tendencia actual que sigue la mayoría de los hornos.

e).- *Humedad.*- Su determinación es importante, en especial si el coke se carga por peso; sistema que está siendo abandonado. En todo caso, el conocimiento de éste factor deberá -- llevarse con la regularidad necesaria, ya que el peso de coke efectivamente cargado deberá ajustarse en base seca (eliminando la humedad) para posteriormente calcular la relación con el peso de arrabio producido, conocido como "coke-rate" y que como se señaló anteriormente, constituye uno de los mejores índices para establecer el rendimiento y eficiencia del proceso.

Por último diremos que la determinación de los diferentes factores citados y que expresan las características tanto de composición como de cualidades físicas del coke deben llevarse de acuerdo a un programa estricto de ensayos y análisis de laboratorio.

2).- *EL MINERAL DE FIERRO* .- Es la principal materia prima empleada en la elaboración del arrabio aún cuando los otros dos, sinter y pellets han ido cobrando extraordinaria importancia en los últimos años, en particular la segunda.

Los minerales de hierro se clasifican desde el punto de vista de su utilización industrial, atendiendo a varios criterios, que se exponen a continuación:

*Contenido de hierro.*- Pobres para un contenido en hierro

menos de 40 % medianos, entre 40 y 55 % y ricos para un contenido superior a 55 % .

**Naturaleza de la ganga.**- (Se entiende por ganga todas aquellas substancias en el mineral que pasan a formar parte de la escoria) tiene una influencia importante, ya que en atención al criterio anterior, no sólo el contenido de fierro determina la calidad de mineral, sino que la naturaleza de la ganga permite conocer el agregado y las características del fundente que deberá acompañar al mineral para obtener una escoria de fluidéz conveniente. Así se tienen minerales autofundentes cuya ganga tiene una composición tal que da origen a una escoria balanceada y que por lo tanto no requiere de adición de fundentes; minerales altos en sílice y alúmina que obligan a un gasto considerable de caliza y dolomita y minerales bajos en componentes ácidos que necesitan de cuarzo de roca sílice para la formación de un volumen de escoria suficiente para asegurar la desulfuración del arrabio.

**Grado de purezas.**- La ausencia de cobre, zinc, plomo y arsénico; y un mínimo de azufre y fósforo, caracterizan a un mineral "puro" o "de calidad".

Respecto al fósforo los minerales se clasifican en ;

a).- Minerales puros.- En que la relación  $P/Fe$  es menor de 0.075 % .

b).- Minerales medianamente fosforados.- En que la relación es menor de 1.7 % y

c).- Minerales fosforados.- En que  $P/Fe$  es mayor de 1.7 % .

**Estado de combinación del fierro.**- Respecto a la forma como se encuentra combinado el fierro en los minerales, éstos-

se clasifican en diferentes grupos, siendo los más importantes :

a).- Limonitas.- Que son óxidos hidratados de fierro que corresponden a las fórmulas;  $2 \text{Fe}_2 \text{O}_3 \times 3 \text{H}_2\text{O}$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{H}_2\text{O}$  con contenido de fierro hasta de un 60 % .

b).- Siderita.- Es el carbonato de fierro, de fórmula --  $\text{FeCO}_3$  y con un contenido en fierro de 48 %.

c).- Ilmenita.- Es un mineral titanífero, que corresponde a la fórmula  $\text{FeO} \times \text{TiO}_2$ , siendo su porcentaje de fierro de un 32 % aproximadamente.

d).- Piritas.- Con un elevado contenido en azufre, su fórmula química es  $\text{Fe S}_2$ , llegando su concentración de fierro hasta un 37 % .

e).- Hematita.- De fórmula  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , constituye el óxido férrico llegando a un contenido en fierro del orden del 63 %.

f).- Magnetita.- Es el óxido ferroso-férrico que tiene por fórmula  $\text{Fe}_3 \text{O}_4$  y con una ley que puede alcanzar, en ciertos casos, al 67 % .

Los dos últimos, hematita y magnetita, forman los yacimientos que representan la mayor fuente de abastecimiento de mineral de fierro, encontrándose mezclados con mucha frecuencia, siendo este el caso de mayor ocurrencia en México y Países Sudamericanos.

Granulometría.- El mineral de fierro que se extrae de la mina o yacimiento debe ser procesado mecánicamente previo a su empleo en escala industrial. Por lo general este tratamiento se circunscribe a una molienda y posterior cribado, y algunos casos se acompaña de lavado con agua, cuando es factible la eli

minación de parte de la ganga arcillosa.

a).- Mineral Fino.- Corresponde a la fracción de tamaño inferior a  $3/8"$  (-10 mm), siendo su uso directo muy restringido de permeabilidad que le imparte a la columna de carga. Sin embargo, constituye el mineral adecuado para ser sometido a procesos de aglomeración de pelets o de sintér.

b).- Mineral Granado.- O tipo Alto Horno - Cuyo rango de tamaño va del mineral, si predomina la hematita de más alta reducibilidad, la fracción podrá llevarse con ventajas para la permeabilidad de la carga, al tamaño  $1" \times 21/2"$  (25 x 63)- y en caso de contener una mayor proporción de magnetita, de más difícil reducción, lo conveniente será rebajarse a la dimensión  $3/8" \times 1"$  (10 x 25) aunque ello signifique sacrificar algo de la permeabilidad de la carga.

c).- Mineral Grueso.- O en coipas, como también se le denomina. Cubre de preferencia el tamaño -  $21/2"$  (-63 mm) y se le destina, por lo general, a los procesos de aceración, en los que actúa como oxidante a la vez que aporta su Fe al baño metálico.

En términos generales podemos decir que la consistencia en el tamaño de la carga metálica es factor reconocido como de primordial importancia en la productividad del alto horno y en la determinación del consumo de coke.- Son numerosos los estudios conducidos desde ya hace varias décadas a clarificar los problemas concernientes al flujo de gases en el interior del horno, pudiendo expresar que lo señalado para los rangos límites del mineral de hierro granado  $3/8" \times 21/2"$ , es una norma que tiene validez en la práctica, pero que sin embargo, solo a través de la experiencia efectiva de su empleo en el al

to horno más los antecedentes que, mediante ciertos análisis y ensayos específicos, entregue el laboratorio, podemos llegar a establecer el rango óptimo de tamaños para cada tipo de mineral de hierro.

3).- EL SINTER AGLOMERADO.- Los finos separados del mineral de hierro son susceptibles de ser aglomerados y aprovechados, con excelentes resultados, en el alto horno.

Entre los procesos de aglomeración aplicados a la industria siderúrgica el más antiguo (se usó por vez primera en 1925), y se desarrolló creciente y exitoso, es la sinterización o fabricación del sinter, que consiste en calentar los finos del mineral, convenientemente mezclados, con combustible, que puede ser coquecillo (cisco de coke) o polvillo de alto horno, o proporciones variables de ambos, hasta alcanzar una temperatura cercana al punto de fusión incipiente de la mezcla.- De ésta forma las partículas de mineral se adhieren fuertemente unas a otras, constituyéndose núcleos o glóbulos de mayor dimensión.

El material mezclado y dosificado se alimenta a una banda metálica en movimiento regulado, provista de parrillas en el fondo, sobre las que se forman una cama de mezcla y de espesor que puede, fluctuar entre ocho y veinticinco pulgadas, ( 20 a 65 cms. ), según la capacidad de la instalación.

A medida que se va formando la cama, atraviesa una horni-  
lla donde se produce la ignición del material, y el combustible de la mezcla, que es fundamentalmente carbono, se quem  
en contacto de un flujo considerable de aire que atraviesa la  
cama de mezcla por efecto de la succión aplicada sobre las pa

rillas de la banda en movimiento.

Es necesario entonces, que esta cama posea suficiente porosidad para obtener un escurrimiento adecuado del aire, lo que se logra, en gran parte, haciendo recircular el cribado de del sinter de menor tamaño llamado retornos, que van a formar la zona o estrato inferior de la cama de la mezcla.

Descripción del proceso y reacciones: Una vez que los diversos materiales que integran la mezcla, esto es, finos de mineral de fierro, coquecillo, polvillo de alto horno, caliza y dolomita, y en ocasiones, escamas de óxido de laminación o laminillas, han sido adicionados en las proporciones convenientes, llegan a un mezclador de tipo mecánico, donde se homogenizan los componentes y reciben un agregado de agua hasta completar una humedad total entre 5 a 7 % del peso de la mezcla, que tiene por efecto provocar una aglomeración física o mejor dicho una nodulización del material, formándose al rededor de las partículas de mayor tamaño, nodulos cohesionados de finos, lo que ayudará, posteriormente durante la sinterización.

Del mezclador, los materiales, mostrando una composición uniforme son descargados en forma continua, por medio de un buzón basculante u oscilatorio sobre la banda de parrillas en movimiento.- Delante de este buzón, va otro similar, que alimenta otro similar, constituido en su mayor parte por la fracción cribada de tamaño entre 1/4" y 3/4" (6 a 20mm.), formando la capa o estrato inferior que asegurará una permeabilidad adecuada para la cama de materiales.

A lo largo del proceso de sinterización es posible distinguir varias zonas bien delimitadas, según se muestra en el

esquema que se acompaña, donde se van gestando las diferentes reacciones y cambios hasta conformar el producto final.

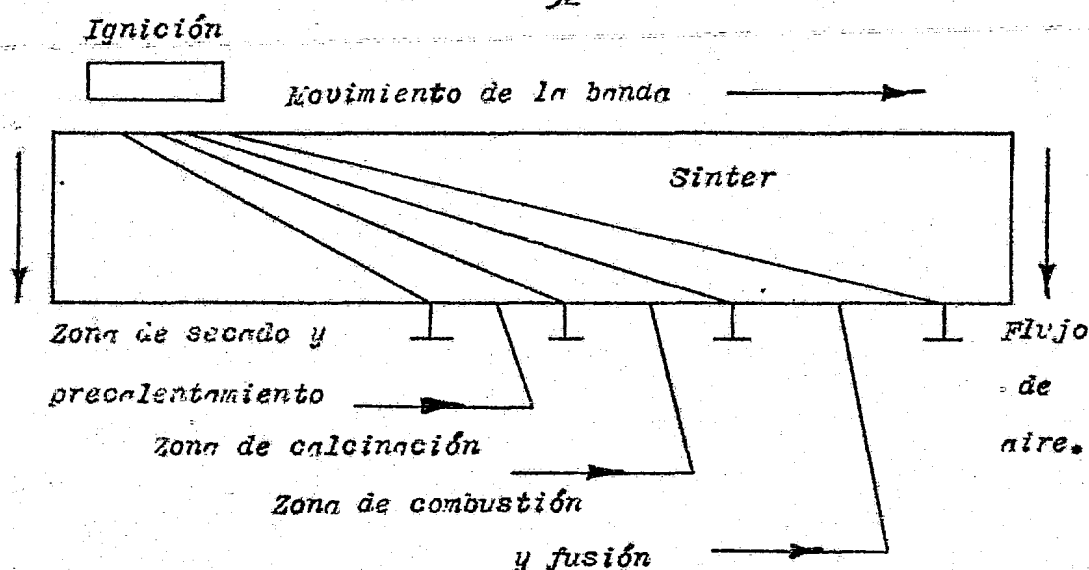
Son cinco las zonas diferenciadas en una máquina de sinter, según la distribución de temperaturas a lo largo y profundo de la cama de mezcla, en las que tienen lugar una serie de cambios físicos y transformaciones químicas que quisiera explicar:

a).- Zona húmeda.- Corresponde a la parte inicial y más profunda de la cama y tiene las mismas características que la mezcla original alimentada al proceso.- El nivel superior de esta zona puede mostrar mayor humedad que el resto, producto de la condensación del agua evaporada en la zona contigua.- Alcanza a una temperatura máxima de 80°C.

b).- Zona de secado y precalentamiento.- En esta zona la carga se ha calentado lo suficiente, desde 150 a 500°C aproximadamente, para que toda la humedad libre e incluso el agua de combinación se volatilice.- Algo del azufre contenido en los materiales de la mezcla escapa también con los gases succionados por la parte inferior de las parrillas.

c).- Zona de calcinación.- En este sector, la corriente de gases alcanza una temperatura que va de los 700 a 1200°C - produciéndose en forma gradual, la calcinación de los carbones correspondientes al fundente (caliza y dolomita); existiendo concentración suficiente de monóxido de carbono (CO) para reducir la hematita ( $Fe_2O_3$ ) a magnetita ( $Fe_3O_4$ ) en forma parcial.- Desde el punto de vista físico, el material sufre expansión, lo que hace que los bloques de aglomerado tiendan a fracturarse, adquiriendo además cierta porosidad el material.





d).- *Zona de combustión y fusión.*- En esta zona se desarrolla la mayor cantidad de calor por la combustión del carbono y anhídrido carbónico, alcanzando niveles de temperatura entre 1300 y 1450 °C, de modo que el fundente calcinado reacciona con la ganga de los constituyentes de la mezcla para dar una fase de escoria en estado semi-líquido o pastoso. Se completa la reducción de la hematita a magnetita en la zona precedente, continuando la reacción y pasando algo de magnetita a óxido ferroso ( $FeO$ ). Además, la mayor parte del azufre mineral se quema a la forma de anhídrido sulfuroso ( $SO_2$ ), yendo a incrementar la corriente de gases que abandonan el proceso.

En esta forma es posible llegar a eliminar hasta un 70 % del azufre inicial de la mezcla.

e).- *Zona del sinter.*- Aquí se produce un brusco descenso de la temperatura; solidificándose la matriz, de escoria--

formada anteriormente; volviéndose a oxidar parte de magnetita a hematita y adquiriendo el material su porosidad definitiva.

Al abandonar el sinter la banda mecánica, pasa por lo general a un enfriador de aire y de aquí a la estación de cribado, separándose una fracción menor, corriente inferior a  $3/4"$  (20mm), y una mayor, sobre  $3/4"$ , que corresponde en peso a cerca de 60 % de la carga original de la máquina y que constituye el producto a ser usado en el alto horno.

Propiedades físicas del sinter:- El sinter de buena calidad para su empleo ventajoso en el alto horno debe cumplir -- con ciertos requisitos de carácter físico, resaltando los siguientes:

a).- Resistencia mecánica.- Debe, al igual que el coke - ser capaz de presentar una resistencia al impacto y a la abrasión lo suficientemente grande para resistir el peso de la columna en el interior del horno, con un mínimo de degradación.

Las pruebas y ensayos físicos para determinar y controlar la estabilidad mecánica del sinter son análogas a las empleadas para el coke.

b).- Porosidad.- Es un importante factor que influirá de manera decisiva en la economía del problema de elaboración del arrabio. Así, un sinter de alta porosidad (48 al 60 %) presentará una gran superficie de contacto a la corriente de gas reductora ascendente, favoreciendo la reacción con el monóxido de carbono (reducción indirecta) y dando como resultado un bajo consumo de coke (coke-rate) en el horno.

Tipos de sinter.- El sinter para el alto horno se clasifica atendiendo a su composición química y en particular al in-

dice de basicidad, definido por la relación en peso de los componentes básicos a los componentes ácidos ( $\frac{\% \text{CaO} + \% \text{MgO}}{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3}$ ), en las siguientes categorías:

- a).- Sinter ácido.- En que el índice de basicidad fluctúa entre los valores 0.5 a 0.8;
- b).- Sinter autofundente.- Cuando el índice de basicidad está comprendido entre 0.8 y 1.0; y
- c).- Sinter calizo.- En que el valor de la relación mencionada sobrepasa el nivel de 1.0.

Ventajas del uso del sinter en el alto horno.- Los beneficios que reporta el uso del sinter de buena calidad en el alto horno, pueden resumirse en los siguientes puntos:

- 1).- Alta permeabilidad de la carga y aumento de la capacidad de producción.
  - 2).- Bajo consumo de coke, especialmente si se trata de sinter autofundente o calizo, en el que ya se ha efectuado, durante su fabricación, la calcinación del fundente, ahorrándole, por lo tanto, el gasto de calor correspondiente al alto horno.
  - 3).- Promueve una marcha regular y controlable durante la operación del horno y
  - 4).- Puesto que el contenido en azufre del sinter es bajo, su uso en el alto horno favorece la obtención de un arrabio de mayor calidad.
- 4).- EL PELET.- Es el producto de un proceso de aglomeración de finos de mineral de hierro de desarrollo más reciente que la sinterización, ya que los primeros ensayos en escala industrial tuvieron lugar hacia 1946, tomando su producción, a partir de esa fecha, un rápido incremento y extendiéndose

se su uso a diferentes países.

La experiencia ha probado que los pelets constituyen - una excelente carga metálica para el alto horno por las características propias de éste material, los cuales enumerados a continuación, haciendo una breve descripción de las mismas.

a).- Análisis químico controlado.- Debido a que la peletización se acondiciona perfectamente a minerales finos de tamaño muy reducidos ( $\frac{1}{8}'' \times 0 = - 3 \times 0 \text{ mm}$ ), la materia prima base del proceso, es susceptible de ser sometida en forma previa a diversos sistemas de beneficiación (concentración magnética, flotación), por los cuales es posible eliminar en forma controlada una serie de impurezas como ser fósforo y azufre, a la vez que ciertos silicatos constitutivos de la ganga, con lo cual el contenido férrico puede elevarse a niveles del 67 a 68 %.

b).- Resistencia a factores climáticos.- Los pelets pueden ser almacenados a la intemperie por períodos prolongados de tiempo sin sufrir alteraciones en sus propiedades físico-químicas.- Así, aún cuando se trata de un producto que puede alcanzar una porosidad hasta de un 35 a 40 %, sólo absorbe como máximo un 3 % de humedad.

c).- Control y uniformidad de tamaño.- El pelet es un material a la forma de pequeñas esferas, siendo el diámetro más apropiado para su uso en el alto horno entre  $\frac{3}{8}''$  y  $\frac{1}{2}''$  (10 a 12 mms.); gracias a cuya uniformidad le otorga una muy elevada permeabilidad a la columna de carga, conforme a lo establecido por la llamada "ley de los hoyos".

d).- Resistencia física.- El pelet elaborado de acuerdo a normas estrictas de control para las diferentes etapas del

proceso, presenta por lo general, muy buena estabilidad mecánica durante su transporte, manejo y almacenamiento; y está en condiciones, una vez cargado el horno, de resistir el peso de la columna de carga con un deterioro mínimo o insignificante.

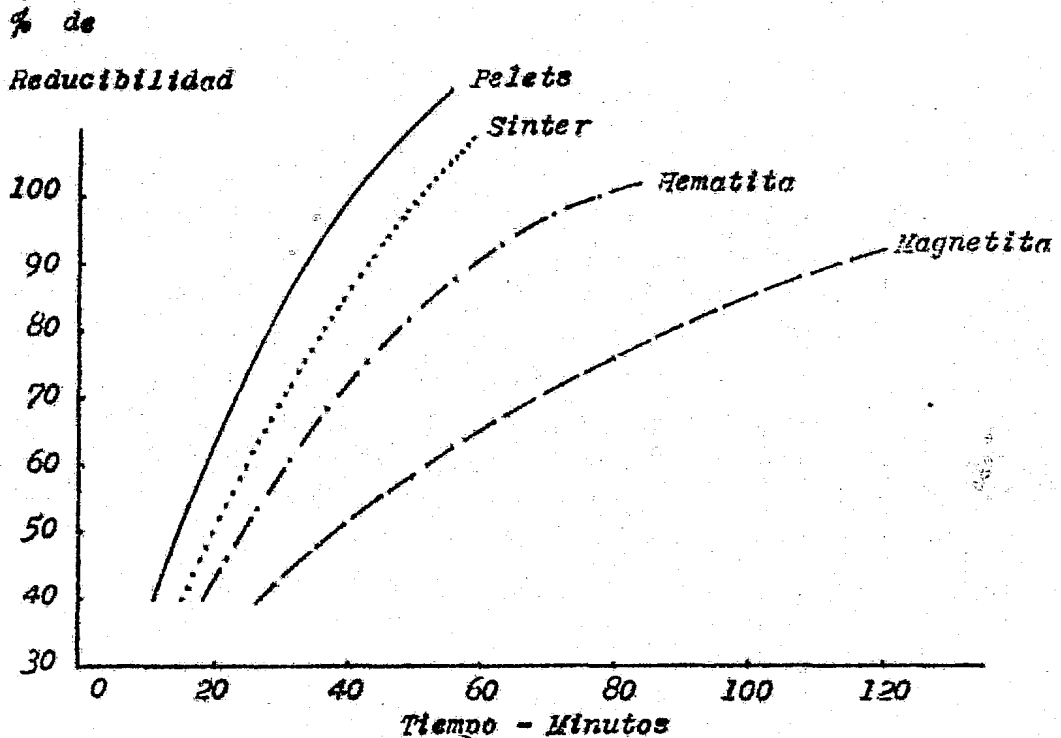
e).- Reducibilidad.- Debido a su porosidad de carácter microscópico, presenta un gran desarrollo de superficie al contacto del gas reductor, llevándose a cabo la reducción indirecta en efectividad, dando como resultado un bajo consumo de coque.- Sin embargo, algunos pelets muestran tendencia a desintegrarse por efecto del proceso de reducción, antes de alcanzar la zona de fusión, lo cual provoca en ocasiones problemas de "colgamiento" de la carga, con canalizaciones del gas y pérdida de eficiencia en la reducción indirecta.

Se han desarrollado diferentes pruebas para medir la desintegración de los pelets a la alta temperatura y sometidos a compresión.

Uno de los ensayos más aceptados por la correlación que muestra con el comportamiento de este material en el interior del horno, es el Gakushin, que consiste en someter la muestra de pelets, previamente pesada; bajo una carga de compresión a una atmósfera de gas reductor conteniendo 30 % de CO y 70 % de N<sub>2</sub> a una temperatura entre 900 y 1000° C.

Los resultados de reducibilidad se determinan en función del peso de pelets remanente retenido sobre mallas de cribado de 3 x 28 mesh (mallas o hilos por pulgada cuadrada).

En la gráfica adjunta, se muestra a modo de comparación, las reducibilidades relativas de diferentes componentes de la carga metálica del alto horno.



**REDUCIBILIDAD RELATIVA PARA COMPONENTES DE LA CARGA METÁLICA DEL ALTO HORNO.** (Ensayos de laboratorio con gas reductor compuesto de 30% CO y 70% N<sub>2</sub>).

Descripción del proceso de peletización. - La elaboración del pelet es un proceso que consta de tres fases principales:

1.- Preparación y molienda del mineral. - Esta etapa envuelve importancia pues el grado de molienda determinará el éxito de la fase siguiente, cual es la formación de bolas "crudas" o "en verde", para lo cual el requisito de granulometría fija como límite, a lo menos, un 60 % de finos bajo 325-mesh con lo cual el mineral que servirá de materia prima en el proceso deberá presentarse a la forma de un polvo impalpable.

2.- *Elaboración de las bolas crudas.*- Para el logro de resultados óptimos, la fase de aglomeración física del fino a la forma de bolas crudas o en verde, debe cumplirse de modo tal que estas partículas esféricas reúnan las siguientes características:

- a).- Tamaño apropiado ( $7/16''$  a  $1/2''$ );
- b).- Uniformidad de tamaño;
- c).- Adecuada resistencia mecánica a la abrasión e impacto; y
- d).- Resistencia al impacto térmico (es decir que no se desintegren por el calentamiento brusco).

Como material aglutinante para obtener la cohesión de los granos de mineral y dar así formación a las bolas se emplean diferentes aditivos, como ser: Sales solubles de sodio o potasio; compuestos químicos inorgánicos (sulfato ferroso); y bentonita, que es una arcilla natural de propiedades típicas, siendo el aditivo de más amplio uso en proporciones que van del 0.5 al 1.0 % del peso de finos alimentados.

La fabricación de las bolas crudas se efectúa, por lo general, en tres tipos de aparatos:

- a).- Tambor rotatorio
- b).- Cono rotatorio
- c).- Disco giratorio.

3.- *Endurecimiento de las bolas.*- Las bolas crudas son cribadas, eliminándose la fracción  $3/8''$ , que es sometida a molienda e incorporada nuevamente a los finos de mineral.-Las bolas superiores a  $3/8''$  son endurecidas por calentamiento directo hasta temperaturas que fluctúan entre 1200 y 1300°C, ad

quiriendo el material sus propiedades finales en cuanto a consistencia mecánica, porosidad y tamaño.- Una vez enfriado y seleccionado por cribado queda listo para su alimentación al alto horno.

Finalmente diremos que el endurecimiento por calentamiento se lleva a cabo en dos tipos de horno, a saber:

- a).- Horno vertical de cuba baja, y
- b).- Horno rotatorio cilíndrico con parrilla alimentadora.

#### 5).- LOS MATERIALES COMPLEMENTARIOS QUE APORTAN FIERRO.

Los materiales complementarios que aportan fierro, llegan a constituir a veces hasta un 10 % de la carga metálica, teniendo por característica principal su alto contenido de Fe, y por tanto al estar exentos casi totalmente de ganga.- Debido a esto, sólo requiere de calor para su fusión, de forma -- que su procesamiento en el alto horno consume un mínimo de -- combustible. Desgraciadamente sólo pueden conseguirse en cantidades pequeñas o a precios comparativamente muy altos, lo -- que limita su uso al máximo antes dicho.

Los materiales más importantes en este rubro son los siguientes:

a).- Escamas de laminación o laminillas.- Corresponde a las escamas óxidadas resultante de laminación primaria o desbastado de los lingotes de acero, con un contenido en fierro que varía entre el 72 y 75 % .

b).- Virutas de acero.- Se obtienen como deshecho de los talleres mecánicos, producto del cepillado, torneado y maquinado en general de piezas de acero.



Corrientemente las virutas metálicas van impregnadas de aceite, y su contenido en fierro fluctúa entre un 88 y 92 %.

c).- Marqueta o lingotillo básica.- Es el producto del arrabio procesado en las máquinas marqueteras, resultando en piezas de dimensiones uniformes y cuyo peso unitario puede ir de 30 a 50 Kgs. según el caso.- Tiene buena acción como elemento para ayudar a eliminar adherencias en la parte alta de la cuba del alto horno.

6.- LOS FUNDENTES.- Los fundentes cumplen un importante papel en la marcha del alto horno, ya que este proceso es esencialmente una reducción y posterior fusión, debiendo separarse las impurezas o ganga a la forma de una escoria fluida, para dejar libre los componentes que constituyen el arrabio.

La función de los fundentes es doble.- Por una parte contribuye a darle fusibilidad a la ganga de la carga metálica y cenizas del coque mediante la formación de silicatos dobles de fierro y alúmina con calcio y magnesio, que son compuestos de menor punto de fusión (pasan al estado líquido a más baja temperatura) que los materiales mineralógicos originales; y en segundo término, aportan la proporción de bases suficientes en la escoria para la eliminación del exceso de azufre que contamina el arrabio.

En el caso más general, cuando se trata de minerales con ganga refractaria (de elevado punto de fusión) la adición del fundente apropiado y su proporción en la carga al horno, debe determinarse ajustadamente.

Los son los fundentes de mayor aplicación:

1.- La caliza o carbonato de calcio.- De fórmula  $\text{CaCO}_3$ , que a-

una temperatura entre 900 y 1000°C se descompone en el interior del alto horno, según la reacción:



El gas escapa con el  $\text{CO}_2$ , en tanto que la cal ( $\text{CaO}$ ) que constituye la base activa se incorpora a la ganga del mineral y cenizas del coque dando origen a la escoria.- El  $\text{CaO}$  libre y en exceso un, posteriormente, a eliminar el azufre a la forma de sulfuro de calcio.

La calidad de la ceniza es tanto mayor, cuanto más elevada sea su contenido en  $\text{CaO}$ , e, inversamente, cuanto menores sean las proporciones de sílice y alúmina en su composición.

Un análisis para este fundente podría ser el siguiente:

| CaO    | MgO   | $\text{SiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | Fe    |
|--------|-------|----------------|-------------------------|-------|
| 55.0 % | 0.3 % | 1.5 %          | 0.2 %                   | 0.2 % |

Este material en su uso indirecto en el alto horno se ajusta de preferencia al tamaño 1 1/2" x 3", en tanto que el que se emplea en la elaboración del sinter autofundente y calizo se encuentra en el tamaño 100 x 6 mesh.

Por último diremos que la caliza abunda en la naturaleza lo cual facilita, en mucho su abastecimiento.

2.- La dolomita o carbonato doble de calcio y magnesio.- Que responde a la fórmula  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , y cuyo comportamiento en el horno es similar al que demuestra la caliza.

Por lo general, se emplea conjuntamente con la caliza en proporción tal que, en la carga a manera de obtener, en la escoria el porcentaje adecuado de magnesio ( $\text{MgO}$ ) y que puede fluctuar entre un 8 y 12 %, según las condiciones requeridas. El papel de la magnesia es específico y contribuye a otorgarle a la escoria la fluidez necesaria para que desempeñe eficientemente su función.

cientemente su papel desulfurante; en especial ante la presencia de contenidos de alúmina entre un 12 y 20 %, o de óxido de titanio ( $TiO_2$ ) que sobrepase el 1.0 %.

Los elementos nombrados aumentan la viscosidad de la escoria, reduciendo considerablemente su poder de reactividad y además favoreciendo la retención y arrastre de hierro metálico.

Es interesante señalar también que en comparación con el componente activo de la caliza, que es el  $CaO$ , la magnesia -- ( $MgO$ ) tiene, aproximadamente cerca de un 30 % de mayor poder desulfurante; sin embargo, la dolomita es más escasa y su precio, considerablemente mayor que la caliza.

La granulometría exigida para la dolomita a ser usada en la carga del alto horno es similar, a la que corresponde a la caliza, esto es con fracción preponderante en el rango -----  
1 1/2" x 3 ( 38 x 76 mm ).

Un análisis de composición característico para la dolomita, se acerca a lo siguiente:

| MgO  | CaO  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe    |
|------|------|------------------|--------------------------------|-------|
| 18 % | 32 % | 2.5 %            | 0.8 %                          | 0.5 % |

## VI.- EL FUNCIONAMIENTO DEL ALTO HORNO

### (PROCEDIMIENTOS DE OPERACION).

El alto horno representa en una planta siderúrgica integrada el "motor" o "corazón", que imprime ritmo y dinamismo a la producción global de dicha industria, y como consecuencia, el éxito y eficiencia en su operación.

Tal vez, la única norma fija que debe tenerse presente es que cualquiera que sea el nivel de producción programado para el alto horno, éste debe lograrse con el mínimo consumo de coke posible (el más bajo "coke-rate"), ya que el coke representa un 50 a 70 % del precio final de arrabio.

En este análisis se incluirán los siguientes factores:

1.- Sistema de carga.- Ya hemos visto que los métodos de carga al alto horno son múltiples y deben ensayarse diferentes secuencias hasta establecer una selección de aquellas que arrojen los mejores resultados, evaluados bajo las siguientes indicaciones:

a).- Un descenso regular de la carga.

b).- Una baja proporción en la razón  $CO/CO_2$  del gas que abandona el horno.

c).- Una repartición uniforme del gas ascendente manifestado por la estabilidad de la presión en el tope.

d).- Una proporción balanceada de las diferentes fracciones granulométricas que en conjunto forman la carga y que permitirá mantener una permeabilidad adecuada para la columna descendente de materiales.

Todo ello lleva el objetivo importantísimo de un bajo "coke-rate" pudiendo establecer una relación directa con la concentración de CO en el gas de salida.

Un excelente indicador de esta condición es la razón:

$CO/CO_2$  del gas, habiéndose calculado que por cada 1 % que baja esta relación se obtiene una reducción del gas "coke-rate" de 2 Kgs./T.M. arrabio. A modo de ejemplo, si la razón  $CO/CO_2$  baja de 1.65 a 1.60, lo que representa - 3.5 %, el ahorro en "coke-rate" sería de 27 Kgs./Ton.

Por ello es que se cataloga de gran utilidad el contar con un analizador continuo de gases que registre con precisión los contenidos en  $CO$  y  $CO_2$ .

Un aparato de tal naturaleza le permite al operador evaluar rápidamente los efectos de una determinada secuencia de carga y así ensayar diversos ciclos hasta mejorar la eficiencia del proceso.

Para poder arribar a resultados satisfactorios debe entrarse al control y regulación de las materias primas desde el momento mismo que estas son cargadas a las tolvas de la Casa de Carga, especialmente en lo relativo al mineral de hierro; para lo cual es necesario atenerse a lo siguiente:

a).- Supervisión frecuente y directa en el abastecimiento del mineral, la disposición del mismo en las diferentes tolvas según su rango granulométrico; cumplimiento estricto de las secuencias y pesos programados; rotación en el uncinado de las tolvas para evitar segregaciones del material.

b).- Muestreo representativo de los minerales en las tolvas (en el punto de carga al carro-báscula) y la información expedita de los análisis químicos y granulométricos correspondientes.

c).- Cotejar y calibrar los carro-básculas con pesos patrones en forma semanal.

d).- En cuanto al coque, se acostumbra la inspección diaria de las básculas y su calibración semanal con pesos patrónes. Así mismo, en todos los turnos deben revisarse el estado de las mallas de cribado y disponer el reemplazo oportuno en caso de deterioros.

El muestreo del coque debe hacerse cada cuatro horas en el punto de entrega del material cribado a la tolva pesadora.

Respecto de la carga misma al alto horno, es recomendable lo siguiente:

a).- Ensayar diferentes secuencias de carga hasta encontrar aquéllas que mejor responden a la marcha regularizada y eficiente de la unidad.- Es preciso señalar que en ocasiones, al efectuar un cambio de secuencia, la reacción primera del horno puede resultar adversa, no siendo esta reacción suficiente para descartar un determinado programa.

Debemos pensar que a veces, las variaciones del perfil interno del horno se cumplen lentamente, necesitándose en oportunidades hasta de 4 a 5 días para obtener una respuesta acorde a los resultados esperados.

b).- El control de nivel de carga en la zona del tragante es un factor que juega importante papel, ya que si este nivel es mínimo conforme al volumen que corresponde a la secuencia en uso, se tendrá también un mínimo de segregación granulométrica.- Se recomienda al efecto como nivel de carga "lleno" el plano horizontal ubicado entre 2 y 2 1/2 pies. (60 a 75 cms.) bajo la posición de la campana grande abierta.

c).- La regulación de la temperatura del tope debe hacerse tendiendo a lograr una media horaria entre 150 y 200° C con límites de 100 a 400° C, este último, para protección del

equipo, mientras el proceso de carga progresa con normalidad será suficiente la adición regular de agua en los carros-elevadores, de preferencia los cargados con coque, dando así un enfriamiento paulatino por la evaporación más lenta del agua retenida sobre las porosidades superficiales de dicho material. Sin embargo, cuando existe retraso o se producen interrupciones en la carga del horno, la forma de evitar la elevación de temperatura a niveles peligrosos debe hacerse por medio del agregado de agua directa a la zona del tragante con bomba de alta presión que puede ser accionado automáticamente por el impulso eléctrico proveniente de un indicador ajustable de la temperatura de los gases de tope. Si ello fuera insuficiente, deberá recurrirse a disminuir drásticamente el volumen de soplo y, a paralizar en ocasiones la marcha del horno hasta superar el problema.

d).- En cuanto a la presión de vapor entre campanas, para evitar inflamaciones del gas, debe mantenerse entre 7 y 10 psi. (0.5 a 0.7 Kgs./cm<sup>2</sup>), ya que por efecto de una mayor presión y correspondiente aumento de temperatura se corre el riesgo de producir desajuste en los sellos.

e).- Otro aspecto importante, referido al momento que surte efecto un cambio en el peso o composición de la carga, es su control sobre la base del volumen de una determinada secuencia de carga respecto al volumen útil del horno, considerado éste, como el comprendido entre el nivel de la posición "lleno" y el plano horizontal de la línea media de toberas. Es decir que no es suficientemente exacto esperar el resultado de un cambio de carga después de un tiempo prefijado (7.8 o 9 hrs.), ya que son varios los factores que influyen en la ve-

~~labilidad de marcha del alto horno; en tanto que si se ha calculado previamente el número de cargas que debe tomar el horno— según la relación aludida se podrá saber efectivamente en que momento la carga modificada se encuentra en la zona bñda de los etalajes, que es justamente donde se produce el efecto de finitivo.~~

f).- Por último en lo referente al sistema de carga, y sin que ello signifique agotar el tema, vale indicar que la práctica de emplear "coques extras" va siendo descartada como recurso rutinario, pues sus posibles beneficios no se comparan con las perturbaciones y confusiones que provocan en la marcha estabilizada del alto horno.- A mayor explicación, el empleo irrestricto de este medio produce un calentamiento diferido del lecho de fusión, para que al cabo de un cierto tiempo (según el volumen de coke extra) volver a la condición original, distorcionando el juicio de los operadores respecto de la tendencia que muestra el horno.

Además se eleva el gasto de combustible con el consiguiente aumento de costos.

~~El coke extra sólo se encuentra justificando en su uso cuando se trata de proteger la unidad frente a paralizaciones prolongadas (más de 8 hrs); embargues, cargas acidificantes o de limpieza, enfriamientos drásticos y persistentes, y en casos, por lo general, debidamente calificados.~~

~~Ante variaciones térmicas del alto horno en rangos controlables, es siempre preferible usar de los recursos involucrados en los cambios de carga; volumen y temperatura de soplo, adición de hidrocarburos (gas natural) y humedad; y en ocasiones, inyección de oxígeno al insuflado.~~



## 2.- Factores de regulación de la marcha del proceso.

Se ha dicho que el personal encargado de la operación del alto horno, cuenta a mano con una serie de elementos que, empleados apropiadamente, lo facultarán para conducir la marcha del proceso hacia la obtención de mayores beneficios. Entre estos recursos, presentaremos breve revista a los más importantes.

a).- Temperatura de soplo.- Debe ser lo más elevada posible, compatible con la capacidad de las estufas y dentro de los márgenes de seguridad impuestos por el equipo necesario (válvulas de aire caliente, condición de los tubos de soplo,). Una vez alcanzado este nivel máximo de temperatura, y ajustados los demás factores, constituye una práctica ventajosa -- mantenerlo en lo posible sin variaciones, en tanto no se originen perturbaciones que obliguen a introducir modificaciones.- Esta modalidad de operar con temperatura uniforme es además favorable para el mejor rendimiento de las estufas precalentadoras, ya que se establecen ciclos de servicio al horno más parejos, con lo cual se facilita la regulación de la combustión durante los períodos de calentamiento.

Es muy importante dejar en claro la influencia de la alta temperatura de soplo, ya que a través de la experiencia y confirmado por el cálculo, por cada 100° C de aumento en la temperatura del viento se logra la reducción en el "coke-rate" de, aproximadamente, 20 a 30 Kgs./T.M. arrabio.

b).- Adición de humedad (inyección de vapor).- La adición de humedad al aire de insuflación es un factor que va estrechamente ligado a la temperatura del soplo. Para este último se había señalado como práctica conveniente el mantener, en lo posible y sin variaciones, un elevado nivel, lo cual --

sólo es factible si se acompaña con una inyección de vapor equilibrado. Esto se explica de la siguiente forma: El empleo de temperatura de insuflación por sobre los  $950$  a  $975^{\circ}\text{C}$ , produce la correspondiente elevación de temperatura en la zona de combustión frente a las toberas y su extensión hacia la parte superior de los estalajes, con lo cual la reducción del óxido ferroso ( $\text{FeO}$ ) directamente por el carbono del coque se lleva a efecto, a una temperatura tal que el óxido se encuentra al estado líquido, y al reducirse y pasar a Fe metálico, teniendo este elemento un punto de fusión más alto que el compuesto, solidifica, aglutinándose con el coque, condición conocida con el nombre de puenteo (bridging) que produce el "colgamiento" de la columna de carga por la distribución irregular de los gases ascendentes.

Esta condición anormal se corrige por la adición de vapor, que al disociarse frente a las toberas consume calor, restituyendo la temperatura de la zona a su nivel adecuado, a la vez que la liberación de hidrógeno aumenta la capacidad de los gases reductores y por su poder expansivo, promueve una mejor repartición del flujo gaseoso ascendente.

El efecto térmico de la adición de humedad se estima de modo que un aumento de  $4.5$  gramos/pla<sup>3</sup> de aire ( $10$  gramos/ $\text{m}^3$ ) equivales a  $-50^{\circ}\text{C}$  de temperatura de soplo.- Como al disociarse el vapor, además de hidrógeno, deja libre oxígeno este último combustiona una cantidad adicional de coque, y para la cifra antedicha, equivales a  $3\%$ , aproximadamente, de aumento del aire de soplo, con lo que la producción de arrabio sube también en igual proporción.

Para el efecto de compensación térmica, que produce la -

adición de humedad respecto de la elevación de temperatura -- del viento caliente, que es el que más interesa pues otorga una herramienta muy útil y de rápida acción para lograr una marcha estabilizada del proceso cuando se opera a altas temperaturas de sople.

De ahí que la idea de aplicar este procedimiento resulta muy atractiva, ya que al mantener constante y a su más alto nivel la temperatura de insuflación, la regulación térmica del horno puede hacerse con relativa facilidad haciendo fluctuar, según sea el caso, la adición de humedad, por ejemplo, entre 10 y 20 gramos/pie<sup>3</sup>, lo que equivale en términos de temperatura de sople, a disponer de un rango de acción de aproximadamente, 120°C.

c).- Inyección de hidrocarburos (gas natural).- El objetivo principal que se persigue con la inyección de gas natural al insuflado, es el reemplazo parcial del coque, material de alto costo, por un combustible de menor precio. Desgraciadamente este reemplazo queda limitado por la imposibilidad de quemar todo el gas deseable en el espacio de combustión disponible frente a la zona de toberas, de ahí que en las condiciones más favorables puede llegarse a reemplazar del orden de un 8 % del coque cargado al alto horno.

La inyección de hidrocarburos tiene un efecto enfriador también frente a las toberas, de modo que su empleo debe ir aparejado con una elevación en la temperatura de insuflación, para obtener así los mayores beneficios. Se tiene entonces que por cada 1 % de adición de gas natural, respecto del volumen de sople, debe aumentarse la temperatura del viento entre 50 y 60°C.

d).- Volumen y penetración del soplo.- Hemos ya dicho -- que la producción de un alto horno es función directa del volumen de aire insuflado, pudiéndose decir que su capacidad -- productiva está determinada por su mayor o menor dificultad -- para quemar coque.

A su vez, el volumen máximo de soplo que es posible aumentar a un alto horno queda fijado por tres factores, a saber:

1.- Las dimensiones de diseño del horno, medida por el -- diámetro del crisol.

2.- La permeabilidad de la columna de carga; y

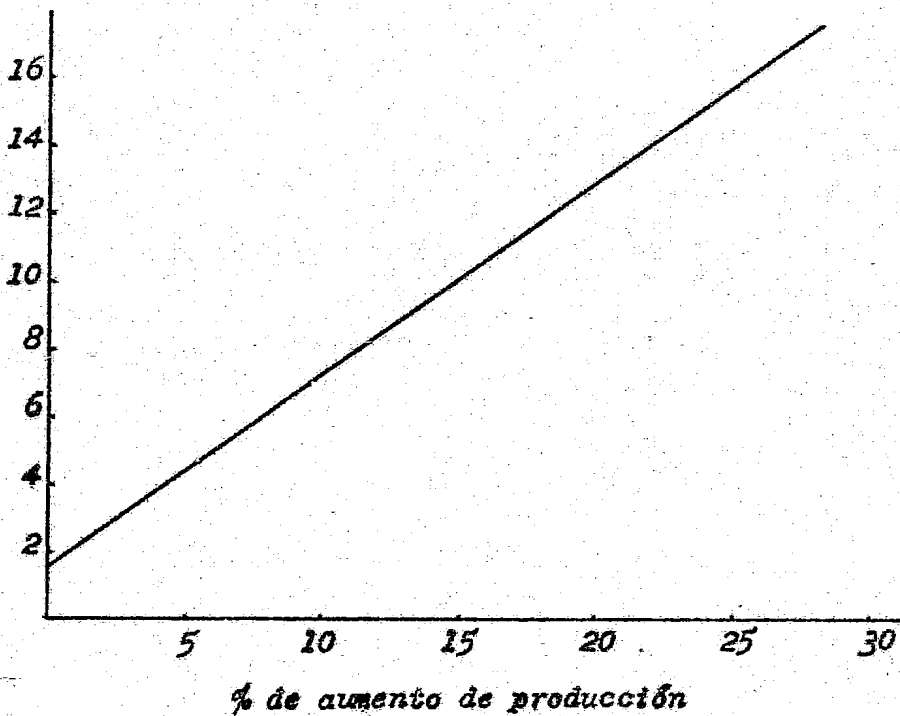
3.- La presión de trabajo en el tope de horno.

Ante la creciente demanda de arrabio, ha sido posible -- apreciar la tendencia actual en muchas empresas en acondicio- -- nar sus instalaciones para que los altos hornos de diseño tra- -- dicional puedan operar a presiones del tope elevadas, en fer- -- ma de incrementar la producción con una inversión de capital -- relativamente baja.

El efecto de este factor se muestra en la grafica adjun-

ta.

Presión en el tope  
( lb/in<sup>2</sup> )



**EFEECTO DE LA PRESION EN EL TOPE DEL ALTO HORNO SOBRE EL AUMENTO DE LA PRODUCCION DE ARRABIO.**

Los valores de la gráfica de la referencia han sido obtenidos en forma experimental para un conjunto de altos hornos en los que se hizo variar la presión en el tope, manteniendo los demás factores fijos, y evaluando el incremento de la producción.

En cuanto a la penetración del insuflado frente a las toberas, factor que ha demostrado influencia en la repartición del gas dentro del horno y por lo tanto, importante para lograr una marcha regularizada de la unidad; se calcula por la

relación entre el aire de soplo, medido en  $\text{pie}^3/\text{min.}$  y el área libre total de toberas, en pulgadas cuadradas. La práctica ha demostrado que los valores más adecuados fluctúan entre 150 y 180  $\text{pie}^3 \times \text{min}/\text{pulg}^2$ , lo que implica usar toberas de dimensiones que concuerden con el volumen de soplo programado, en forma que la relación se encuadre en el rango ya citado.

e).- Inyección de oxígeno al soplo.- Cuando se cuenta con una planta productora de oxígeno para su empleo regular en aceración (hornos de hogar abierto o convertidores básicos de oxígeno), se abre la posibilidad de usar eventualmente este elemento en el alto horno, en casos calificados y por períodos de corta duración. La adición de oxígeno en el rango de 2 a 4 % por sobre el contenido natural del aire atmosférico (21 %) y según la disponibilidad de este elemento, produce una combustión acelerada del coque con una gran concentración de calor en la zona frente a las toberas, lo que se traduce en una elevación expedita de la temperatura en dicho sector.

Es por ello, que el empleo de oxígeno en casos de enfriamientos bruscos e intensos del horno o en la puesta en marcha después de un embanque o bien después de paralizaciones prolongadas de la unidad, y por períodos de 3 a 4 hrs. es de muy valiosa ayuda, mientras entran en efecto medidas adicionales y más permanentes para superar la situación crítica, como ser la reducción en el peso de la carga o el empleo de coques extra.

Ya se dijo que la adición de oxígeno aumenta la combustión de coque acelera la marcha del proceso, pudiendo establecerse que por cada 1 % de incremento de oxígeno por sobre su contenido normal, en el aire, equivale a aumentar en un -----

4.76 % el volumen de soplo y consecuentemente, la producción de arrabio aumentará en igual medida.

f).- *Calidad del arrabio.*- La calidad del arrabio quedará determinada para una planta siderúrgica cualquiera, por las especificaciones de análisis químico que se le fijen al producto del alto horno, según los criterios fundamentales en las condiciones que imperan para las materias primas; requisitos exigidos por aceración; evaluación y estimaciones de costo. Sin embargo, desde un punto de vista general, diremos que un arrabio básico será de alta calidad cuanto menores sean los contenidos en azufre y fosforo. Así podríamos fijar como especificaciones aceptables las siguientes:

| Si           | S           | P           | Mn          |
|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 0.60 - 1.20% | 0.040% max. | 0.300% max. | 0.10-0.50 % |

El contenido en azufre es controlado por la escoria, siéndole favorecida su eliminación por las características que se señalan:

1).- Volumen de escoria adecuado, en forma que la concentración de azufre se mantenga en un promedio de 1.8 %.

2).- Una escoria básica y suficientemente fluida, aún cuando estos factores se contraponen, y

3).- Un nivel de temperatura lo bastante alto para que la reacción de desulfuración se cumpla con mayor rapidéz.

Las tres condiciones que se indican significan necesariamente un consumo de coque mayor, de ahí que cuando el contenido del azufre en el arrabio es muy alto, resulta más económico aplicar algún método de desulfuración externa e independiente del alto horno.

Respecto del fosforo, el único control posible es en las

materias primas, previo a disponer su carga en el horno, ya - que aquí no se ejerce eliminación alguna y todo el fósforo *pg* se directamente al arrabio.

Esto se explica por el hecho que, aún cuando se opera - con una escoria básica, el fósforo puede ser oxidado a anhídrido fosfórico para que lo cal entre en reacción y lo capte a la forma de fósforo tricálcico, pasando a la escoria; pero por imperar en el horno en una atmósfera típicamente reductora no se cumple la primera fase de la reacción, con lo cual - se descarta toda posibilidad de control sobre dicho elemento.

En cuanto al contenido en silicio (Si) en el arrabio básico, este puede cubrir un rango de variación bastante amplio, estando influenciado especialmente por la temperatura de trabajo del alto horno, en forma que a mayor temperatura, mayor la sílice que se produce y que pesa como silicio al metal líquido y en más baja medida por la basicidad de la escoria; - cuanto mayor, menor la proporción de silicio en el arrabio.

La relación entre porcentaje de silicio en el arrabio con respecto a la temperatura de la zona inferior del horno y superior del crisol, es casi directa; estando esto último determinado por el mayor o menor consumo de combustible, de modo que ha sido posible cuantificar esta relación, calculándose que por cada punto de porcentaje de silicio en el metal, corresponde una variación en coke de 0.8 Kgs/T.M..- Así si se baja el silicio de 1.20 % a 0.80 % en promedio, o sea 40 puntos por ciento, la reducción en "coke-rate" será alrededor de 32 Kgs/T.M. arrabio.

Esto marca la tendencia más avanzada en el sentido de operar con temperaturas más bajas en el interior del horno o -



sea con cargas más pesadas y de mayor rendimiento en metálico, lo que se refleja por un rango sostenido de silicio entre 0.40 y 0.60 %.

Evidentemente que esta práctica favorable para la obtención de un bajo "coke-rate", exige un control exacto de los diferentes factores que gobiernan el equilibrio térmico del proceso, pues un enfriamiento brusco, bajo tales condiciones de operación, puede ocasionar la solidificación del material líquido en el crisol (*chilling the hearth*) con grave daño para la unidad. - La adaptación de este método implica, aparte de los controles ya mencionados, el contar con reserva de calor en las estufas y disponibilidad suficiente de oxígeno para inyectar al insuflado en caso de presentarse emergencia.

En general diremos, referido a la composición del arrabio, que la constancia y la uniformidad en el análisis debe constituir una de las metas principales para el operador del horno, por los beneficios que ello reporta, no sólo a la regularidad del proceso, sino también, posteriormente, durante el afinado del arrabio en la elaboración del acero.

3.- *Equipo e instalaciones.* - Hemos hablado ya de la responsabilidad compartida por el personal de operación en orden a obtener una elevada eficiencia para el proceso, debiendo ahora considerar la seguridad y adecuada protección del equipo e instalaciones.

Sólo lo primero, se han esbozado algunos procedimientos, y en cuanto a lo último, se hablará sumariamente de aquellas normas generales de protección.

En esta materia le cabe competencia tanto al personal de operación como al de mantenimiento Electro-mecánico e ins-

*trumentación.*

Durante la operación habitual del alto horno deben atenderse de preferencia aquellos puntos claves que puedan significar en sus alteraciones o anomalías las causas de daños y deterioros importantes para el equipo, como también para la seguridad del personal.- Así podemos enumerar entre otros, las siguientes:

a).- Sistema de agua de enfriamiento del horno.- (placas, toberas, intermedios, monos.) en lo que respecta al control del flujo y presión del agua; detección de fugas; lavado programado de los implementos con agua de alta presión; mantenimiento de stock adecuado de piezas de recambio.

b).- Tope del horno.- La inspección diaria del tope del horno, que incluye comprobar el funcionamiento físico del distribuidor McKee de acuerdo al programador, estado de las sondas o barras de prueba (medición); accionamiento de las campanas; presión de vapor entre campanas; condición de lubricación de los elementos mecánicos; revisión de los cables de los carros elevadores y poleas; limpieza de plataformas y escaleras.

c).- Sistema de limpieza y distribución de gas.- La vigilancia debe ser poco menos que permanente en orden a detectar filtraciones que puedan contaminar áreas de trabajo y el consiguiente riesgo de explotaciones. Esto es de particular importancia en la zona de estufas con referencia a las válvulas de corte y control de gas, que deben ser sometidas a limpieza y acondicionamiento cada cierto tiempo, conforme lo exijan las circunstancias.

Los sellos y descargas de agua de las diferentes unidades

des del sistema deben ser purgados con cierta regularidad.

d).- Orificio de sangría (pica de fierro).- Es uno de los sectores del horno más susceptibles de crear problemas graves, de ahí que deben extremarse las medidas de precaución en lo relativo a mantener el punto centro de perforación y el ángulo de inclinación correspondiente; como también la longitud del agujero (60 a 70 pulgadas) mediante la inyección en cantidad suficiente y controlada de mezcla carbonácea, para lo cual es indispensable una regulación ajustada de la taponeadora y una adecuada limpieza de este equipo.

Así mismo, para proteger la toponadora y prevenir fallas es conveniente observar y medir la carga eléctrica que toma el motor de accionamiento del pistón, y que en ciertos casos refleja el desarrollo y progresión de anomalías mecánicas en el equipo o alteraciones en la constitución de la mezcla carbonácea.

4.- Detenciones del alto horno (paradas).- En cuanto a la protección del alto horno por paralizaciones de su actividad productiva, debemos distinguir tres tipos de detenciones:

a.- Paradas de rutina.- En las que se cuenta con tiempo suficiente para "picar" o colar el horno y llevar a cabo la secuencia de operaciones para cortar el soplo, efectuar la inversión del tiro, aislar y purgar con vapor las líneas de distribución de gas, en forma coordinada y sin mayor a premio.

b.- Paradas de emergencia.- Que envuelve más o menos riesgos según la situación que motive la paralización del horno, con respecto a la etapa de evolución del proceso en lo que se refiere a la acumulación de arrabio y escoria en el crisol. Como su nombre lo indica, este tipo de reparación requiere --

ser efectuado en un tiempo mínimo, por lo cual el criterio - que adopte el supervisor encargado de aplicar la secuencia de actividades necesarias para completar la parada, así como su seguridad y serenidad en la transmisión de los diversos órdenes, es el requisito de garantía en la protección del equipo y resguardo del personal.

Esto implica por parte del supervisor aludido, una evaluación acertada del problema generado y un alto grado de experiencia para acometer con éxito las múltiples causas posibles en el desarrollo de estas emergencias.

c.- Paradas programadas.- Según su denominación, se refieren a aquellas paralizaciones del alto horno planeadas de antemano para llevar a efecto reparaciones de equipo, dependiendo de la envergadura de estas últimas, en cuanto al tiempo que demande su realización para la preparación de la carga del horno en orden a lograr, posteriormente, una puesta en marcha controlada y libre de dificultades. Por lo general, una paralización por un tiempo estimado entre 8 y 12 horas, no requiere del ajuste de la carga y bastará llegar a la colada o pica final de la unidad ligeramente hacia el "lado caliente", reflejada por un contenido en Si en el arrabio del orden de 1.00 a 1.20 % .

Esto puede conseguirse elevando la temperatura de soplo reduciendo la adición de humedad unas 3 a 6 hrs. antes de la última pica, o también, aún cuando es un recurso menos usado, disminuir entre un 15 a 20 % el volumen de soplo o cortar la inyección de hidrocarburos durante 2 a 4 hrs. previas a la - detención del horno.

Ahora, si se trata de detenciones que van de las 24 hrs.

a 3 o 4 días ya es necesario un "semi-embanque", empleando coque extra y cargas livianas, rebajadas en su peso entre un 15 a 30 % según el caso y efectuando algunas preparaciones adicionales.- Es así que, tomadas estas medidas, difícilmente se arriba a situaciones críticas durante la puesta en marcha, salvo que el horno no haya sido soplado intensamente en la última fase de la pica final, o que existan filtraciones de agua a través de los implementos de enfriamiento, no siendo detectadas oportunamente, aparte de otros factores de menor complicación.

En cuanto a paralizaciones prolongadas que pueden ir de una semana a dos o tres meses, constituyen los casos típicos de "embanques" del alto horno, y la preparación de los mismos debe calcularse y planearse en forma cuidadosa y acertada pues del éxito o fracaso en la posterior restitución del horno a su operación, puede depender de la vida futura de esta unidad.

Es así que, conforme a la estimación del tiempo de inactividad, deben determinarse en forma ajustada los siguientes puntos principales de preparación de la carga especial:

- 1.- Volumen o cantidad de la carga de coque extra.
- 2.- Ubicación de la carga de coque de embanque en posición adecuada por sobre el nivel de toberas (2 a 4 metros arriba) y:
- 3.- Proporción conveniente de las cargas livianas por sobre el coque de embanque, cuya relación "mineral/coque" puede ir de 0.75 a 1.50, según el plazo estimado de inactividad del horno.

En cuanto a medidas adicionales, deben contemplarse entre t-

otras, las siguientes:

- 1.- Colocación de un sello de material fino rematando la columna de carga.
- 2.- Extracción de las toberas y sellado de sus orificios.
- 3.- Sellado exterior de los etalejes.
- 4.- Reducción del agua de enfriamiento del horno.
- 5.- Disminución progresiva de vapor de purga en el tope y colector de polvillo.
- 6.- Extracción de los intermedios y "monas" de las escorieras y sellado de los orificios correspondientes y
- 7.- Control del descenso de la carga.

Respecto del éxito en la puesta en marcha, estará determinada, principalmente, por:

- 1.- Preparación adecuada del agujero de sangría.
- 2.- Preparación de una de las escorieras para picar por allí en caso de emergencia.
- 3.- Calentamiento previo de las estufas; y
- 4.- Progresión equilibrada del volumen de soplo en los etapas iniciales de la puesta en marcha.

En general sobre esta materia y atendiendo a la protección del alto horno, la experiencia, conocimientos y el sentido de organización de los supervisores juega un papel de significativa importancia, como también la cooperación y perseverancia que pongan en práctica todo el personal subordinado.

5).- Mantenimiento Preventivo: La necesidad de asegurar la continuidad de operación del alto horno, o al menos reducir las paralizaciones a un mínimo, dentro de márgenes de costo razonables, lleva al propósito de intensificar la aplicación de procedimientos de mantenimiento preventivo del equi

po e instalaciones bajo el aspecto electro-mecánico. La tarea es en sí compleja y la implantación con resultados positivos demanda de cierto tiempo si se pretende cubrir el problema en forma integral.- Sin embargo, puede irse, a través de un método simplificado, avanzando paulatinamente hasta alcanzar un grado de perfeccionamiento satisfactorio.

La necesidad de contar con un programa dinámico de mantenimiento preventivo se hace más notoria cuanto mayor sea la automatización de las instalaciones ya que en tales casos las fallas se presentan repentinamente, obligando al mantenimiento correctivo, con las consiguientes perturbaciones operativas que deviene, corrientemente en mayores costos y alteraciones de la calidad de arrabio.

Para los efectos de desarrollar un procedimiento, sirven de referencia los siguientes puntos:

- a).- Clasificar los sistemas según su localización o funciones.
- b).- Dividir los sistemas en los equipos constitutivos.
- c).- Individualizar las partes y elementos de cada equipo.
- d).- Abrir un registro u hoja de vida para cada equipo - en que se contemplen:
  - 1.- Partes y elementos que lo forman.
  - 2.- Referencia de planos (dibujos) y esquemas.
  - 3.- Antecedentes proporcionados por el fabricante y recomendaciones; y
  - 4.- Registro de reparaciones, inspecciones, acondicionamiento.
- e).- Control de órdenes de trabajo.

f).- Control de órdenes de compra.

g).- Determinación de inventarios (stocks) de repuestos o refacciones.

Las ventajas que provee el buen uso de un procedimiento para mantenimiento preventivo son claras y reducen en lo siguiente:

- 1.- Más larga vida útil para los equipos e instalaciones,
- 2.- Mejor servicio y eficiencia,
- 3.- Disminución de interrupciones en la línea de operación.
- 4.- Rebaja la inversión de capital en stock de repuestos;
- y
- 5.- Menores costos operativos.

El procedimiento expuesto puede ser ajustado progresivamente hasta llegarse al registro codificado de toda la información, para ser procesada en máquinas computadoras con las ventajas inherentes.

6.- Función del personal.- Repetiremos que la operación eficiente de un alto horno exige de la disposición del personal con un sentido de colaboración creciente y responsable. Es un trabajo esencialmente de equipo, en que todos y cada uno de los miembros tienen una función específica que cumplir de modo que en la medida en que apliquen a conseguir los mejores resultados determinará para el conjunto, el mérito común de exhibir un elevado rendimiento para el alto horno.

Sobre el particular son varios los criterios involucrados, pero por su preponderancia destacaremos los dos siguientes:



a).- Procurar un conocimiento cabal de todos los aspectos contemplados en la función asignada, destacando y profundizando en los más importantes; y

b).- Aplicar las prácticas y procedimientos vigentes - con uniformidad de criterio de modo que las metas propuestas se alcancen con expedición y un mínimo de desviaciones.

## VII.- FORMACION Y ROL DE LA ESCORIA.

El mecanismo de formación de la escoria es un asunto complejo y de su composición final dependerá, en gran parte la marcha del proceso, tanto en sus consideraciones físicas como en los resultados que se logren desde el punto de vista económico.

Si en la marcha descendente de la carga en el interior del alto horno, estudiamos lo que llega a ser la ganga y el arrabio, constataremos que las reacciones se inician en la cuba con la desecación de la carga y la descarbonatación de la caliza y dolomita, y en seguida, en la zona de reducción, la escorificación inicial del mineral. Se forma un silicato doble fusible, arrastrando una parte del óxido de hierro, que será reducida más adelante por el carbón en la zona de fusión. Es ahí donde se elaborará la escoria definitiva, ya que los elementos básicos más refractarios, en particular la cal ( $\text{CaO}$ ), acaban de incorporarse a la escoria. La escoria totalmente fundida frente a la zona de las toberas, se incrementa por el aporte correspondiente a las cenizas del coque que se quema, escurriendo gota a gota a través de la masa incandescente y se reúne en el crisol por encima del arrabio líquido en virtud de su menor densidad.

Consideremos ahora, la constitución de las escorias del alto horno.- Cuatro son sus componentes principales, a saber, sílice ( $\text{SiO}_2$ ), alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y magnesia ( $\text{MgO}$ ), con cantidades pequeñas y variables de diferentes substancias provenientes de la ganga del mineral y de las cenizas del coque. La característica fundamental de la escoria es su índice de basicidad, mencionado anteriormente, y que por lo general que

da definido por la relación :

$$I.B. = \frac{\% CaO + \% MgO}{\% SiO_2}$$

La fusibilidad de la escoria está relacionada con este índice; siendo la viscosidad tanto más elevada, cuanto mayores es el índice, es decir cuanto más básica es la escoria, mientras que la fusibilidad disminuye por el contrario cuando la basicidad aumenta.

El rol de la escoria es doble.- Reacciona por una parte como fundente asegurando la separación al estado líquido del arrabio de la ganga; y por otra parte, como depuradora, eliminando del metal líquido ciertas sustancias perjudiciales.

Considerando la escoria como fundente, señalemos que conviene evitar una fluidez demasiado grande en la zona del horno donde el mineral no está todavía suficientemente reducido, puesto que si no, disolvería una cantidad importante de óxido de hierro, formando un silicato que exige, posteriormente, para su reducción un fuerte consumo de combustible.

La escoria deberá ser tanto más refractaria mientras más difícil de reducir es el mineral y cuanto mayor es la cantidad de magnesio que se desea introducir en el arrabio; siendo necesario en este caso operar un índice de basicidad más elevado. Deberá ser, a la vez, refractaria y poco básica, para facilitar el pasaje de silicio a la fundición.

Es así como la fusibilidad de la escoria y la reductibilidad del mineral determinan la temperatura del lecho de fusión, y por consiguiente el gasto de combustible y la menor o mayor facilidad en el manejo del horno, debiendo puntualizarse

~~se que el aumento de temperatura por sobre ciertos límites trae consigo perturbaciones en el descenso de la carga.~~

La fusibilidad de la mezcla binarias (dos componentes) y ternaria (tres componentes) formadas por sílice ( $\text{SiO}_2$ ), alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), cal ( $\text{CaO}$ ) y, eventualmente magnesia ( $\text{MgO}$ ), ha sido objeto de numerosos estudios e investigaciones para el establecimiento de diagramas que dan el punto de fusión (temperatura) para diferentes mezclas de estos componentes (composición porcentual).- Los componentes nombrados pueden, por combinación entre sí, dar origen a 28 compuestos minerales, pero sólo 8 de ellos se encuentran normalmente en las escorias del alto horno. Los diagramas temperatura-composición correspondientes a estos 8 compuestos indican que los puntos de fusión son del orden de  $1275^\circ\text{C}$  a  $1450^\circ\text{C}$  para las escorias básicas, y de  $1165^\circ\text{C}$  a  $1300^\circ\text{C}$  para las escorias ácidas.- Pequeñas desviaciones de la composición tienen una fuerte influencia sobre el punto de fusión.

El rol de la escoria como depurador no es menos importante.- Esta acción depuradora no es menos importante; no puede, evidentemente, efectuarse sobre los elementos cuya eliminación se hace por oxidación, puesto que en el alto horno impera un medio esencialmente reductor. Es así que no hay desfosforación, y todo el fósforo de los diferentes componentes de la carga pasa al arrabio.

Por el contrario, el alto horno reúne las condiciones necesarias para la desulfuración del arrabio se hace esencialmente bajo el nivel de las toberas, por el contacto entre los flujos líquidos descendentes del metal y la escoria.- La reacción de desulfuración está, limitada, entre otros factores,

por la presencia de  $\text{FeO}$ , ella no se lleva a cabo, en el sentido favorable, sino en un medio reductor, que es precisamente el caso del alto horno, en donde se tiene la reacción:



El coeficiente de repartición (R) del S (azufre) entre escoria y arrabio, determinado por la relación:

$$R = \frac{(S) \text{ Concentración de azufre en la escoria}}{(S) \text{ Concentración de azufre en el arrabio}}$$

es tanto más grande, que:

- 10.- Cuando la basicidad de la escoria sea más grande; su contenido en cal debe ser lo más elevado posible, no siendo necesario en la práctica que el contenido de sílice suba del 35 %. Cuando la basicidad de la escoria aumenta, el coeficiente de repartición aumenta también, así se tiene que para un índice de basicidad ( $\text{CaO MgO/SiO}_2$ ) entre 0.5 y 0.7, la cantidad de azufre que pasa al arrabio y a la escoria, es la misma; pero un índice entre 1.5 y 1.6, la cantidad de azufre que pase a la escoria es unas 15 a 19 veces mayor que la que pasa al arrabio;
- 20.- Cuando la temperatura sea más elevada, en gran parte a causa del aumento de la fluidéz, y por consecuencia, de la reactividad de la escoria.

Un segundo medio de desulfuración del arrabio, muchas veces usado como complemento del anterior, consiste en formar un sulfuro cuya solubilidad en el arrabio sea menor que el del sulfuro de hierro, tal es el caso del sulfuro de manganeso ( $\text{MnS}$ ).

La presencia del manganeso en el arrabio será pues favorable a la desulfuración; su eficacia es, por otra parte, --

poca; disminuye cuando la temperatura aumenta por el crecimiento de la solubilidad del MnS. — Es así como el enfriamiento posterior del metal líquido es donde se hace la verdadera desulfuración por precipitación y separación del sulfuro de manganeso, lo que se obtiene con el uso de ollas de gran capacidad o mezcladores.

En resumen, debemos recordar que la desulfuración es más activa cuando:

- 1) El índice de basicidad es más elevado.
- 2) La temperatura es más alta.
- 3) El arrabio es más rico en manganeso; y
- 4) El volumen de escoria es mayor.

Pero es necesario hacer notar que todas las condiciones enumeradas corresponden a un aumento del consumo de coque. Sabemos, en efecto, que el aumento del contenido de cal de la escoria eleva su punto de fusión. — Es así que para un mismo contenido en alúmina y magnesia, al aumentar la basicidad de 1.10 a 1.50, el punto de fusión de la escoria se eleva aproximadamente 170°.

Tal elevación de temperatura supone un incremento definitivo en el consumo de coque.

El efecto del aumento de la cantidad de escoria se manifiesta en igual sentido, puesto que se trata de calentar y fundir un volumen más grande de substancia.

Experiencias realizadas demuestran que un aumento de 100 Kg. del volumen de escoria implica un mayor consumo de coque del orden de 28 a 35 Kgs/T.M. de arrabio. El pasaje al arrabio de una proporción más grande de manganeso está favorecida por los mismos factores; de modo que todo se conjuga para tener —

una buena desulfuración en el alto horno, con un consumo más elevado de coque.

Estas consideraciones llevan a la práctica implantada -- en algunas siderúrgicas, especialmente cuando el contenido de azufre en la carga alcanza alto nivel, a renunciar en parte -- al rol depurador de la escoria y no hacer la desulfuración en el alto horno, sino, por el contrario, más tarde y directamente en el arrabio líquido, ya sea en la olla o en el mezclador.

Esta tendencia tiene como premisa que no se considera la escoria sino que como fundente, lo que permite adaptarlas exactamente a este rol, -- se decir, de considerar exclusivamente las características óptimas de fluidéz y fusibilidad, lo -- que conduce a una escoria de naturaleza neutra o levemente básica, con índices de basicidad entre 1,00 y 1,10. -- Resulta -- así --

- a) Una economía de combustible;
- b) Una economía en mineral de Mn o escoria de ferro manganeso.
- c) Un aumento de la producción del alto horno.

La práctica de la escoria levemente básica o neutra es -- más o menos indispensable para la utilización de los minerales muy aluminosos o de los minerales pobres en fierro y ricos en sílice, con los cuales si se adopta la práctica de la escoria básica, son necesarias cantidades considerables de caliza y dolomita para hacer desulfurante la escoria, lo que -- disminuye drásticamente su fusibilidad y trae consigo un aumento importante del consumo de combustible.

Nos encontramos pues en presencia de dos escuelas:

- 1) El funcionamiento más restringido de trabajar con escoria

neutra o levemente básica, sin adición de mineral de manganeso y con desulfuración a posteriori; y

2) El funcionamiento clásico y más difundido en su aplicación de operar con escoria básica y desulfuración en el alto horno.

El empleo de uno u otro de estos métodos dependerá esencialmente de las condiciones, del aprovisionamiento de fundentes y aditivos desulfurantes, y sobre todo, de la economía del proceso.

En el caso particular de Fundidora, dadas las características del coque (contenido en azufre aceptable) y muy especialmente del mineral (baja sílice), el proceso tradicional de desulfuración con escoria básica es de buena aplicación si se considera que ella se logara a límites satisfactorios con un volumen de escoria de 300 Kgs/T.M. de arrabio.

En general, la cantidad de escoria necesaria es una cifra muy variable de un alto horno a otros, según las condiciones que presentan las materias primas y la calidad del arrabio que se desea obtener. En ciertas zonas y países se considera normal una proporción de 500 a 600 Kgs/T.M. de arrabio, en tanto que a veces suele llegar a 900 Kgs. y hasta 1000 Kgs /T.M.



### VIII.- LOS SUBPRODUCTOS DEL ALTO HORNO.

Son tres los subproductos que aparecen en un alto horno: el gas, la escoria y el polvillo.

El gas de alto horno.- Sin lugar a dudas es el más importante de los subproductos y contribuye, a través de su aprovechamiento, en forma más o menos significativa a la economía del proceso.

La cantidad de gas producido por un alto horno es considerable y alcanza, como término medio a 4000 m<sup>3</sup> por tonelada de coque que se combustiona.- Se trata de un gas de bajo poder calorífico (900 K calorías/m<sup>3</sup>), conteniendo como combustible principal de un 22 a 34 % de monóxido de carbono, lo que lo hace sumamente tóxico y explosivo.

Su composición varía en el siguiente rango:

|                 |   |     |   |       |                       |
|-----------------|---|-----|---|-------|-----------------------|
| CO <sub>2</sub> | = | 10  | a | 18 %  | (anhídrido carbónico) |
| CO              | = | 20  | a | 35 %  | (monóxido de carbono) |
| H <sub>2</sub>  | = | 0.5 | a | 44 %  | (hidrógeno)           |
| CH <sub>4</sub> | = | 0.3 | a | 1.5 % | (metano)              |
| N <sub>2</sub>  | = | 52  | a | 66 %  | (nitrógeno)           |

Ya se dijo que el análisis continuo del gas constituye una herramienta muy eficaz en el control de la carga, redundando en una economía de combustible; a la vez provee un medio bastante exacto para calcular la cantidad de gas producido en relación al volumen de soplo. Para esto último, bastaría conocer el contenido de nitrógeno del gas y la cantidad de aire insuflado al horno medido bajo condiciones normales, partiendo de la base que todo el nitrógeno del aire tendrá que ir; a dar, sin alteraciones, al gas, siendo la relación de -

sus respectivos porcentajes el incremento del volumen de gas producido respecto del soplo.

Sea:

$V_G$  = volumen de gas en condiciones normales, en  $m^3/min.$

$V_S$  = volumen de soplo bajo condiciones normales en  $m^3/min.$

$\% N_{2G}$  = porcentaje de nitrógeno en el gas.

$\% N_{2A}$  = porcentaje de nitrógeno en el aire (79 %)

Luego:

$$V_G = V_S \times \frac{\% N_{2A}}{\% N_{2G}}$$

Veamos un ejemplo de aplicación de esta fórmula. Supongamos que un alto horno opera con un volumen de soplo de 2 750- $m^3/min.$  y que el análisis de gas señala una concentración de 54.7 % de  $N_2$ . - Se desea saber la cantidad de gas producido; la que quedará dada por la expresión:

$$V_G = 2750 \times \frac{79.0}{54.7} = 3970 \text{ m}^3/\text{min.}$$

El uso del gas del alto horno es la propia planta siderúrgica es uno de los objetivos primordiales en la obtención de un aprovechamiento integral de este combustible. - Así, entre un 30 a 35 % de la producción de gas se emplea en el calentamiento de las estufas precalentadoras de aire para el alto horno; de un 30 a 40 % en el calentamiento de los hornos de coque; y el resto, en calderas para generar vapor; hornos de foso para el calentamiento de lingotes, en mezcla con el gas doméstico; en hornos de tratamiento térmicos.

**La Escoria.**- Según el procedimiento que se aplique al momento de ser extraída del horno, presenta diferentes grados de compactación; lo que originará diferentes empleos:

a).- Por enfriamiento natural al aire.- Se usa como material base para la fabricación de bloques y elementos para construcción.

b).- Por granulación con agua.- En tal caso tiene dos aplicaciones:

1.- En la elaboración de cemento siderúrgico.

2.- En la agricultura, para la neutralización de tierras ácidas y mejorar el rendimiento de los fertilizantes fosfatados.

c).- Por atomización con vapor.- Se obtiene un excelente material aislante, térmico y acústico, del tipo denominado "lana de vidrio"

**El polvillo de Alto Horno.**- Que es arrastrado por el gas que abandona el horno en proporciones muy variables, según, sea la granulometría de la carga, y sus características de resistencia física, como también el volumen de aire insuflado regularmente al horno. Una gran parte de este polvillo (entre 80 y 70 %) se deposita en el colector de polvillo, desde el cual se extrae en forma directa según un determinado programa. En algunas plantas se trata de recuperarlo en forma intensiva, para lo cual se procesa el agua de lavado del gas a través de aparatos espesores, clasificadores y finalmente filtros centrífugadores, llegándose a rescatar entre un 95 a 99 % del polvillo total.

El polvillo de alto horno tiene un análisis de amplio e

rango, conforme a la composición de la carga, pero podemos señalar que, por lo general, fluctúa entre los siguientes límites:

|                                |   |    |   |      |
|--------------------------------|---|----|---|------|
| Fe Total                       | = | 35 | a | 55 % |
| SiO <sub>2</sub>               | = | 2  | a | 7 %  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | = | 1  | a | 5 %  |
| CaO                            | = | 5  | a | 15 % |
| MgO                            | = | 1  | a | 6 %  |
| C                              | = | 10 | a | 40 % |

El principal empleo del polvillo de alto horno es en mezcla como carga del proceso de sinterización de mineral, en base a su aporte en hierro y carbono combustible.

En estas condiciones llega a constituir hasta un 20 % de la mezcla total, con lo cual todo el polvillo producido en el alto horno se destina a la planta sinter.

En algunos altos hornos en que la carga ofrece buena permeabilidad, se recircula el polvillo, lográndose un aprovechamiento que puede ir entre un 60 a 80 % del material reintegrado al proceso. Para este fin, el polvillo debe presentar un contenido en hierro elevado, que justifique la aplicación de esta práctica.

### IX.- PRINCIPALES PERTURBACIONES EN EL ALTO HORNO

La regularidad en el descenso de la columna de carga como resultado de un diseño correcto del perfil interior del alto horno y demás equipo; de un control adecuado de los niveles de carga, y de una observación cuidadosa y permanente de la marcha del proceso, son los puntos claves para lograr una alta eficiencia operativa.

La detección inmediata de cualquiera alteración y su pronta corrección son esenciales si se pretende evitar daños mayores y la pérdida de la capacidad productiva de la unidad.

Las principales irregularidades a que está expuesto un alto horno, caen dentro de alguno de los rubros que mencionamos a continuación:

#### Enfriamiento del Crisol ("Crisol Congelado"):

El enfriamiento intenso del crisol es una de las perturbaciones más críticas que puede sufrir un alto horno.

Sus causas obedecen a algunas de estas factores:

- a) cantidad insuficiente de coque que alcanza el nivel de las toberas.
- b) exceso de humedad en el aire de soplo;
- c) filtraciones de agua por toberas e enfriadores; y
- d) corrida de carga o desplomes, en que el material constituyente de la carga, sin recibir precalentamiento adecuado e incluso a veces húmedo, cae súbitamente hasta el crisol.

Cuando el "congelamiento" es debido a una carga demasiado pesada o a exceso de humedad en el soplo, el efecto tiene una evolución gradual y puede ser corregido antes que alcance un punto crítico.- Si por el contrario, es producido por fil-

tración de agua o "desplome" puede ocurrir en forma acelerada con resultados desastrosas.- En algunos casos es posible abrir el orificio de pica, quemando horizontalmente con lanza de oxígeno o de polvo de aluminio, que tiene un alto poder termógeno.- Si estos esfuerzos resultan inútiles, debe prepararse rápidamente una escoriera para tratar de extraer el hierro por ahí.

Si por último, ninguno de estos métodos arrojará resultados positivos, se sugiere la aplicación de un arco para fundir el metal solidificado en el interior del crisol. A este fin, se conecta el polo positivo de un generador eléctrico a la coraza externa del crisol, introduciendo, hasta donde sea posible, por el hoyo de pica el polo negativo constituido por un electrodo de carbono.- Entonces se aplica una corriente eléctrica de unos 400 a 500 amperios con potencial de 220 voltios, o bien 1000 amperios con 110 voltios, lo que también es adecuado.

Las filtraciones de agua por toberas e enfriadores generalmente queda indicada por alguno de los siguientes efectos:

- 1.- Explosiones en el horno;
- 2.- aumento de volumen de flamas en la zona de los estalajes, con variación de la coloración del azul al anaranjado como consecuencia de la combustión del hidrógeno proveniente de la disociación del agua;
- 3.- la escoria adquiere color oscuro, mostrando un recubrimiento negro y aspecto vitreo.
- 4.- si se corta el soplo y se inserta una barrera a través de la tobera, al retirarla mostrará indicaciones de humedad.

Ante tal situación, deberá identificarse la tobera, placa o enfriador defectuoso y proceder a su reemplazo de inmediato.

Zonas Recalentadas: Con relativa frecuencia es posible observar en ciertos altos hornos el desarrollo de zonas recalentadas, especialmente en las secciones media y superior de la cuba debido a la pérdida o desintegración del enladrillado en dichos lugares.- Esta condición se origina, ya sea, por la acción de los álcalis introducidos con las materias o por la abrasión y disloque física provocado por un descenso y distribución defectuosa de la columna de carga, mantenida por el tiempo prolongado.- Como medida inmediata de protección se recomienda el enfriamiento externo con regadera de agua para el sector recalentado, con lo cual es posible continuar la operación de la unidad hasta el momento propicio para disponer la reconstitución del revestimiento dañada.

Apilamiento Central: Se debe a la falta de penetración del aire insuflado frente a las toberas, lo que permite la formación de un apilamiento central del material de forma acónica rodeado por una columna anular activa.

Esto conduce a una distribución anormal del gas con enfriamiento del horno, por la deficiente reducción del mineral, alterando la composición y calidad del arrabio. La condición señalada puede detectarse introduciendo una barra lo suficientemente larga para que atravesase de tobera a tobera; mostrándose que al retirar la barra, esta presenta los extremos calientes al rojo, en tanto que el tramo central permanece negro y frío, correspondiendo justamente a la sección transversal del material en apilamiento central.

El remedio para esta anomalía consiste en aumentar la presión del aire de soplo, ya sea reduciendo el tamaño de las toberas o bien incrementando el volumen del viento.

Adherencias ("Rifiones" o "Chanchos"):-

Por diversas causas el material de la carga puede acumularse, con relativa facilidad, hacia un lado del horno dando formación a una adherencia. La presencia de una adherencia en el revestimiento de un horno alto puede quedar indicada por:-

- 1.- Un nivel de carga desparejo y persistente en esta condición. La columna de carga se moverá más rápidamente por el sector opuesto a la adherencia.
- 2.- Dificultad en la operación de horno: La presión de soplo tiende a aumentar provocando "colgamientos" de la columna de carga.
- 3.- El gas muestra un aumento en el contenido de CO, con una composición variable y errática.
- 4.- El consumo de coque aumenta en forma significativa (50 Kgs. T.M. de arrabio o más).
- 5.- Aumenta la producción de polvillo.
- 6.- Disminuye la producción de arrabio.
- 7.- Disminuye la producción de gas.

Las causas que motivan la formación de adherencias son variadas, reconociéndose con mayor frecuencia las siguientes:

- a).- Carga de mineral con excesivo finos.
- b).- Gran deposición de carbón, producto de un coque de baja resistencia mecánica unido a un aumento de la reducción directa por sobre el nivel aceptable.
- c).- Presencia de sílice, sodio y potasio, en los materiales constituyentes de la carga.



d).- Fallas de diseño en el perfil del horno (ángulos de conicidad inadecuados) o colocación defectuosa del enladrillado.

e).- Secuencia de carga de disposición poco conveniente que provoca un movimiento irregular de la columna descendiente.

f).- Elevada basicidad de la escoria, lo que imparte un alto punto de fusión y una excesiva viscosidad.

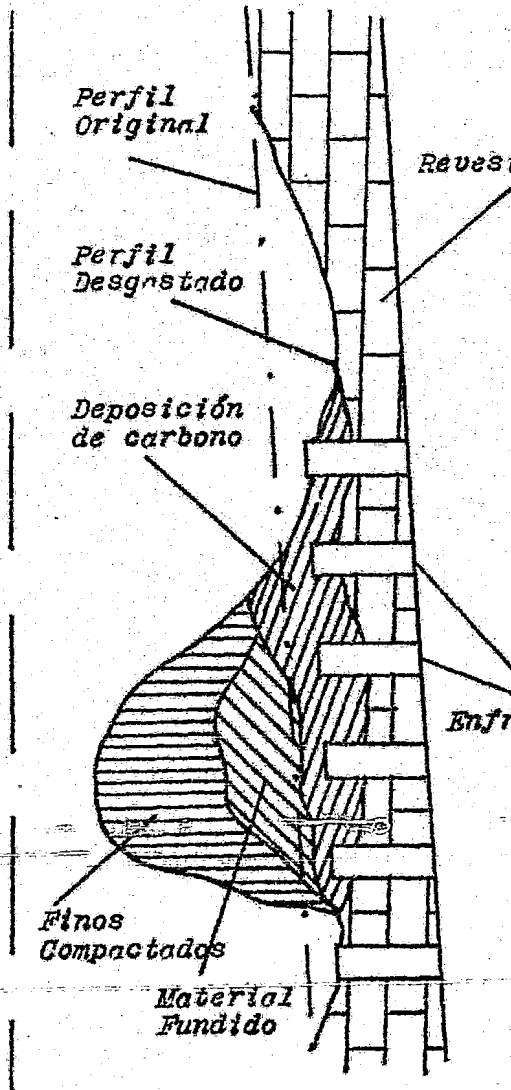
g).- Presencia de metales volátiles en la carga metálica como ser zinc, el que se deposita sobre el refractario por condensación en los niveles de la menor temperatura.

Algunas veces este tipo de temperatura puede ser corregido, si se toma acción oportuna, mediante el empleo de cargas en secuencia invertida, purgas acidificantes, con cuarzo y ce ke extra, por la reducción de la presión del sople en el sector afectado, bloqueando con arcilla las toberas correspondientes; o por fluctuaciones bruscas en el volumen del viento - (reducciones del orden del 50 a 60 % bajo el volumen normal) - por periodos de 30 mins. a una hora repitiendo el procedimiento varias veces, de preferencia una vez finalizadas las picas de fierro.

Sin ninguno de los métodos indicados produce los resultados esperados, no queda otro recurso que proceder a bajar el nivel de la carga por debajo de la adherencia, de demerla - mediante el empleo de explosivos adecuados.

Esta operación de demolición de la adherencia, debe realizarse por métodos especiales a objeto de evitar dañar el enladrillado donde se ubica la incrustación.

Para este fin,



y una vez determinada la ubicación del "chuncho" o "riñón" se baja la carga hasta un nivel inferior, y a través de orificios practicados sobre la coraza del horno, se perfora la adherencia en varios puntos, cargándose con explosivos y detonadores de enfriamiento simultáneo. Antes de reanudar la operación debe compensarse el peso de la incrustación con coque extra para mantener el equilibrio térmico del horno.

**ESQUEMA TIPOICO DE UNA ADHERENCIA MOSTRANDO SUS DIVERSAS ZONAS.**

En el esquema adjunto se muestra una formación típica de esta clase con las diversas zonas que la constituyen.

Colgamiento de la carga (encampanamiento).

El colgamiento de la carga es situación que afecta con cierta frecuencia a algunos altos hornos, y cuya intensidad y prolongación puede deparar la formación de adherencia que en-

*Si implican un mal de mayor gravedad.*

Por regla general es posible distinguir tres tipos de colgamientos de la carga, a saber:

1.- Colgamiento en el tope.- Ocurre en la cuba y está asociado principalmente con las reacciones de deposición de carbono, producto de la inestabilidad del exceso de monóxido de carbono a baja temperatura y que se explica por la ecuación:



2.- Colgamiento en el fondo.- Ocurre en la zona de losetalajes y es provocado, la mayoría de las veces, por la alta basicidad de la escoria y elevada viscosidad de la misma.- También puede deberse a temperatura excesiva en la zona baja de reducción, dando origen a la ligazón o "puentes" entre el coque y el metal en condición de fusión incipiente; fenómeno que ya fué explicado en el capítulo "El funcionamiento del Alto Horno".

3.- Colgamiento general.- Es el que afecta a toda la columna de carga, por sobre el nivel de las toberas, estando asociado en sus causas a la baja permeabilidad de los materiales que forman la carga y a la canalización del flujo ascendente de gases através de una sección reducida del área transversal del horno, frecuentemente con tendencia hacia el centro.

Para evitar el colgamiento de la carga, por extensión de este fenómeno, la formación de adherencias, se recomienda observar las siguientes normas.

a).- Promover un descenso regular y uniforme de la columna de carga.

- b).- Tratar de corregir rápidamente los periodos de colgamiento de la carga. Por lo general un horno colgado responde bien, a una reducción de la temperatura de soplo, un aumento en la adición de la humedad, una rebaja en el volumen de viento, o un cambio en la secuencia de carga (cargas invertidas).
- c).- Evitar los rumbos de presión del insuflado.
- d).- Tratar de operar con una temperatura de soplo constante.
- e).- Mantener el nivel de carga lo más constante posible.
- f).- Estandarizar la distribución de la carga.
- g).- Operar de preferencia con un volumen del soplo constante.

#### Desplomes o corridas de carga.

El desplome o corrida de carga es la consecuencia o resusultante del colgamiento o de la formación de adherencias. El material que se encuentra retenido en su descenso, cae súbitamente y, en casos severos, puede llegar a congelar o solidificar el crisol. - En otros casos, la caída de este material sólido y frío en la zona de alta temperatura, como son los entalajes, puede acarrear explosiones muy serias. Uno de los tratamientos más adecuados es permitir que el alto horno desarrolle y atenué por si mismo el desplome o corrida de carga (esto es, evitar forzarlo a este respecto), ajustando la temperatura del soplo y, si fuese necesario, la presión del insuflado.

Las corrientes de carga o el descenso irregular de la misma puede también estar motivado por un diseño incorrecto del perfil de los entalajes.

### Rupturas de Paredes.

La ruptura de las paredes del horno pueden presentarse en cualquier sector bajo la zona de fusión. Si la ruptura ocurre en las zonas altas no envuelve mayor gravedad.

Las rupturas laterales con salida de escoria son fáciles de detectar y no causan problemas serios. Sin embargo, cuando se produce salida de metal líquido, pueden acarrear riesgos muy graves, especialmente si el sector afectado corresponde al crisol del horno.- Exista aquí, la posibilidad que el arrabio entre en contacto con el agua de las placas verticales de enfriamiento del crisol provocando explosiones intensas con deterioros considerables.- Cuando acontece una ruptura de tal naturaleza, debe tratarse de picar el fierro del horno inmediatamente, siempre que ello sea posible, y cortar rápidamente la alimentación de agua de las placas correspondientes al sector comprometido.

Este tipo de accidentes que corrientemente significa daños extensos, de costo elevado y que paralizan la operación del horno por periodos prolongados con fuerte pérdida de producción, puede prevenirse, en cierta medida, ajustandose a lo siguiente:

- a).- Un diseño de crisol adecuado, seleccionado convenientemente los materiales y disponiendo en especial -- que, a lo menos, las paredes laterales correspondan a ladrillos de carbono (grafito), de modo de eliminar las placas verticales de enfriamiento y reemplazarlas por regaderas externas.
- b).- La colocación del refractario debe de ir en forma -- tal que exista traslapo entre una corrida y la --

siguiente, evitando así que coincidan juntos.

- c).- Las juntas entre bloques o ladrillos, tanto verticales como horizontales, deben ser lo más ajustadas posible para eliminar el peligro de filtración y erosión por el metal líquido.
- d).- Si el horno tiene un diámetro de crisol de 8.0 m. (26 pies) o más, se recomienda el revestimiento total de carbono con enfriamiento del fondo por circulación forzada de aire; y
- e).- Para este caso, en que el fondo está constituido por bloques de carbono, se sugiere que el espesor del fondo sea igual a tres veces el diámetro externo del crisol medido en pies, expresando dicho valor en pulgadas. Sirva de ejemplo el siguiente: Si se tiene un horno con un diámetro externo de 27.5 pies; el espesor mínimo recomendado para el fondo de carbono debería ser :  $3 \times 27.5 = 82.5$  pulgadas.

#### Bloqueo de colectores de gas.

Suele ocurrir en ocasiones que un alto horno experimenta el bloqueo de los colectores principales de salida de gas en el tope (up-takes) por deposición progresiva del polvillo de caliza sobre las paredes de los tubos. Se forma así, adherencias calcáreas que terminan por obstruir la pasadía de gas, obligando a la paralización de la unidad para remover con explosivos las incrustaciones.- La solución definitiva de este problema, que se manifiesta inicialmente con sobrepresiones de gas, apertura de los escapes superiores y dificultades en el movimiento de la campana grande; consiste en la elimina---

ción previa de los finos por cribado y lavado con agua de la caliza.

También el horno es susceptible de sufrir bloqueos en el sistema de limpieza y distribución de gas, por incrustaciones del polvillo húmedo sobre las paredes de los ductos del sistema.- Esta condición es posible de detectarse por el aumento de la presión de gas en todo el sector del horno y hasta el punto de la obstrucción, marcando una diferencial pronunciada respecto del resto del sistema.

El mejor medio de evitar esta clase de problemas, consiste en mantener un programa regular para el vaciado y purga de los sellos de agua del equipo de limpieza de gas.

### X.- EL CAMBIO DE REVESTIMIENTO DEL ALTO HORNO.

Cada cierto tiempo de 3 a 6 años el alto horno requiere del reemplazo parcial o total del revestimiento refractario, por el desgaste inevitable que experimenta dicho material al cabo de un determinado tiempo de operación. - Estos períodos reciben comúnmente el nombre de "compañías" y resulta más lógico medirlos en función de las toneladas de arrabio producido que del tiempo transcurrido entre reparación y reparación.

El cambio de revestimiento recibe el nombre de Parcial - cuando se circunscribe a los estalajes y a la cuba, o a esta sección exclusivamente; y se llama Total, cuando involucra además el reemplazo del refractario correspondiente al crisol.

Como estas reparaciones son cíclicas e implican una paralización prolongada de la actividad productiva del horno, se acostumbra a efectuar un planeamiento cuidadoso y en detalle de todas las actividades, lo cual demanda del concurso de personal especializado para abocarse a este problema con suficiente anticipación.

Es así que, muchas empresas, disponen in formación de un Comité de Cambio de revestimiento con funciones permanentes e integrado por representantes de operación, mantenimiento, albañiles, ingenieros de proyectos, ingenieros industriales. . . Que tiene por objetivos los siguientes:

- a).- Determinar el abastecimiento y adquisición de materiales, herramientas y equipos necesarios para el desarrollo de los trabajos.
- b).- Establecer un procedimiento cronológico y coordinado de trabajos que sirva de guía a los supervisores de los diversos grupos involucrados en las faenas.



- c).- *Estudiar y promover la aprobación y ejecución de los proyectos de modificación, renovación y transformación de equipo e instalaciones.*
- d).- *Determinar el procedimiento y secuencia que signifiquen una mayor rapidéz en la ejecución de la reparación, a través de la técnica del Cambio Crítico o - PEPT.*
- e).- *Establecer un plan de seguridad.*
- f).- *Determinar sistemas incentivos especiales.*
- g).- *Establecer fuerzas de trabajo (horas-hombres) para las diversas faenas.*
- h).- *Controlar el avance de las faenas por medio de sistemas automatizados (computadoras electrónicas).*

*En definitiva este comité procurará que el cambio de revestimiento del Alto Horno, sea este parcial o total, envuelva una variada serie de faenas que cubren el horno en sí mismo como también el equipo auxiliar, pero sin embargo es posible distinguir una secuencia clave de trabajos, que a continuación se enumeran:*

- 1.- *Pica o colada final.*
- 2.- *Sangrado de la salamandra, es decir la extracción -- del metal líquido retenido en el fondo del crisol, -- (cuando se trata de un cambio de revestimiento total).*
- 3.- *Apagado con agua de la carga final (esta carga está constituida por coke, o por una combinación de este material con cuarzo).*
- 4.- *Vaciado de la carga final.*
- 5.- *Demolición del enladrillado antiguo.*
- 6.- *Colocación del nuevo revestimiento.*

7.- Secado del enladrillado.

8.- Llenado del horno con carga.

9.- Reanudación de la operación, determinado por el momento en que inicia la insuflación del aire caliente al horno.

Con los nuevos diseños del crisol totalmente de carbono y con enfriamientos de aire por el fondo se espera que esta zona rinda un servicio amplio, de manera que se estima que en el futuro se mantendrán los cambios de revestimiento parciales cada 4 o 6 años, en tanto que los totales comprenderán pe ríodos de 15 a 20 años o más.

Es esta una expectativa muy favorable, ya que un cambio-parcial exige, aproximadamente la mitad del tiempo que en el caso de un total, lo que unido a gastos materiales y mano de obra, establece una economía considerable para la empresa.

## XI.- CONCLUSION

Las crecientes demandas de productos de acero, agudizadas por la explosión demográfica, han traído como consecuencia el agotamiento de reservas minerales y energéticos provocando con ello que se busquen sistemas y procesos que permitan hacer un uso más racional de los mismos para prolongar su vigencia.

En la exposición anterior se ha visto como el ingenio ha sido aplicado gradualmente, desde el uso de los elementos más sencillos, hasta los sistemas más avanzados de control dinámico que en el presente son ya una realidad y cuya aplicación se propaga rápidamente.

La crítica situación actual que padece el mundo será una motivación para desarrollar nuevas tecnologías que hagan más eficiente el uso de los recursos disponibles. Particularmente en el área siderúrgica se esperan avances notables mediante la aplicación de métodos más científicos, el desarrollo de unidades de producción que por su tamaño -- ofrezcan condiciones de operación más favorables, el aprovechamiento de materiales que en el pasado se consideraban como desechos y el aprovechamiento de gases que aun se siguen quemando sin ninguna utilidad.

BIBLIOGRAFIA.

- a) "BLAST FURNACE THEORY AND PRACTICE "  
J.H. Strassburger.
- b) " APUNTES Y DATOS TECNICOS DE ALTOS HORNOS "  
M. Salgado.
- c) " FABRICACION DEL ARRABIO "  
( "Symposium de temas Básicos de Química Aplicada " )  
J. M. Fernández-Ladreda.
- d) " BLAST FURNACE PRACTICE "  
J.E. Sweetser.
- e) " FUNDAMENTOS DE TECNOLOGIA DE ALTO HORNO "  
M. Salgado.
- f) " EFFECT OF BURDEN MATERIALS AND PRACTICES ON BLAST  
FURNACE COKE-RATE "  
R.V. Flint.
- g) " METALLURGIE DU FER "  
L. Colombier.
- h) "MATALURGIA DE LOS ACEROS DE CALIDAD "  
Charles M. Parker.
- i) " THE MAKING SHAPING AND TREATING OF STEEL "  
United States Steel Corp.
- j).- " THE MANUFACTURE OF IRON AND STEEL "  
( Tomo I ) G.R. Bashforth.