



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Química

PRINCIPALES ADELANTOS TECNOLOGICOS
DEL ALTO HORNO No. 1 DE SICARTSA

332

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO METALURGICO
E INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a n

JORGE HUGO PETISME MALCON Y
ALEJANDRO PEÑA BUENROSTRO

respectivamente

México, D. F.

1 9 7 6



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CLAS. 70811
ADQ. 1976
FECHA 11-7
PROC. 11-7

337

JURADO A SIGNA DO ORIGINALMENTE

PRESIDENTE	PROF.	MANUEL F. GUERRERO FERNANDEZ
VOCAL	"	MANUEL GAVIÑO RIVERA
SECRETARIO	"	KURT H. NADLER GUNDEISHEIMER
1er SUPLENTE	"	JOSE CAMPOS CAUDILLO
2do SUPLENTE	"	HUMBERTO MALAGON ROMERO

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

AHMSA, ITALSIDER Y SICARTSA

SUSTENTANTES: JORGE HUGO PETISME MALCON
ALEJANDRO PEÑA BUENROSTRO

A SESOR DEL TEMA: MANUEL GAVIÑO RIVERA

SUPERVISOR TECNICO: ALFREDO HERNANDEZ VERDUZCO

I N D I C E

INTRODUCCION

GENERALIDADES

- I. PROCESO DE SELECCION DEL ALTO HORNO
- II. CIERRE DEL HORNO SIN CAMPANAS TIPO PAUL WURTH
- III. CANAL BASCULANTE ANTES DE LAS OLLAS TERMO
- IV. ENFRIAMIENTO CON SISTEMA EVAPORATIVO
- V. SISTEMA DE LIMPIEZA DE GASES
- VI. SINTESIS TECNICA PARA ESTUFAS
- VII. COMPUTADORA
- VIII. ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA Y BANDA PRINCIPAL
- IX. COMBUSTIBLES AUXILIARES
- X. PREVENCION DE LA CONTAMINACION

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

La metalurgia del hierro consiste principalmente en un proceso para reducir sus óxidos. Esta operación se llevaba a cabo en la antigüedad, (Edad Media) en la llamada "Forja Catalana", a la cual para utilizar mejor el calor se le agregó una cuba llamándosele por ésto en Europa "Alto Horno" en contraposición con la forja misma que se le llamó bajo horno. Estos hornos producían de 2 a 3 tons/día.

Los modernos Altos Hornos no han cambiado mucho en lo básico de este antecesor, es decir que están formados de un tragante, cuba, el vientre y crisol, que se sigue utilizando un combustible sólido para producir la mayor parte de calor y de los gases necesarios para el proceso, pero al desarrollarse nuevas técnicas en lo mecánico y al irse conociendo más a fondo los fenómenos físico-químicos de la operación sus tamaños crecieron, hasta alcanzar actualmente producciones de más de 10,000 tons/día, ejemplo: Fukuyama A5, que en Agosto del 75 produjo 11,000 tons/día, disminuyendo notablemente su consumo de coque, alcanzando algunos un consumo de 350 kg por tonelada de arrabio.

GENERALIDADES

DESCRIPCION DEL PROCESO.

El proceso que ocurre dentro del alto horno, comprende una serie muy complicada de reacciones físicas y químicas, las que tienen lugar a niveles no muy precisos dentro del alto horno.

Las reacciones que ocurren dentro de él, son entre el carbón, el oxígeno y el hierro y sus óxidos, y el resultado de estas da como producto principal el arrabio.

La temperatura dentro del alto horno, varía aproximadamente de 250° C en la parte superior hasta 1650° C a nivel de las toberas y existen variaciones de temperatura aún en el mismo plano horizontal.

El aire caliente entra a altas temperaturas a través de las toberas, éste aire asciende desde la zona de las toberas a través de la columna de coque, mineral y fundentes.

El coque, los minerales y los fundentes se cargan por la parte superior del horno, y la combustión del coque de su estado sólido a gaseoso y el cambio de los materiales sólidos a su estado líquido permitirá que el material baje por gravedad al fondo del horno, y conforme el material baja, lo cual es registrado por una sonda colocada sobre la carga, éste se sigue cargando para mantener uniforme el nivel de los materiales en el alto horno.

La reducción del mineral de fierro tiene diferentes grados de intensidad a través de la cuba del horno.

El oxígeno del aire combinado con el carbón del coque forma CO_2 , pero como esta reacción es efectuada en la presencia de un exceso de carbón el CO_2 es convertido inmediatamente a CO .

Esta reacción es completada antes de que el aire alcance la parte superior del vientre. Esta corriente ascendente de CO a altas temperaturas es expuesta progresivamente a los minerales y los fundentes los cuales contienen oxígeno, el CO elimina el oxígeno de los minerales y se convierte por lo tanto de una cantidad de CO a CO_2 .

El hierro puro no funde a las temperaturas máximas que hay dentro del horno, por lo tanto como el mineral de hierro al reducirse al hierro esponja y en su descenso en el alto horno se combina con otros elementos como el carbón bajando el punto de fusión del hierro.

Con este último paso todos los materiales ya fundidos se acumulan en el crisol del alto horno, de donde son extraídos periódicamente.

La piquera de hierro es abierta aproximadamente cada 3 horas para vaciar los productos contenidos en el crisol del alto horno, lográndose esto al quitar el tapón de barro refractario que existe en la piquera de hierro. Para efectuar la separación correcta de la escoria y el hierro se usa un desnataador, el cual aprovecha la diferencia de peso específico de estos, haciendo que la escoria se vaya hasta las piletas que hay para tal efecto y el arrabio sea recolectado en ollas termo para su traslado a las acerías.

METALURGIA DEL PROCESO.

Aunque el proceso metalúrgico efectuado dentro del alto horno, no es totalmente conocido, existen varias teorías para

explicarlo, variando estas de acuerdo a los conocimientos adquiridos.

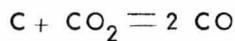
TEORIA DEL ALTO HORNO.

Como sabemos la producción de arrabio en el alto horno es un proceso termo-químico, durante el cual se produce hierro metálico a partir de sus óxidos a través de una serie de reacciones químicas. La mayor parte de estas reacciones son endotérmicas, por lo cual debemos suministrar una gran cantidad de calor para que ellas tengan lugar.

La mayor parte de este calor es suministrado por el coque al quemarse en las toberas. Se podría pensar, que el carbón del coque, en esta zona en la cual existe exceso de oxígeno se quemaría a CO_2 pero este gas no es estable a las temperaturas que se producen ahí. Por esta razón si se forma cualquier cantidad de CO_2 , este reacciona inmediatamente con el carbón en exceso para formar el CO .

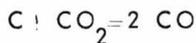
REACCIONES QUIMICAS Y EQUILIBRIO.

Algunas reacciones son reversibles como las siguientes:

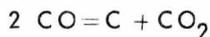


Estas dos reacciones son directamente opuestas una de la otra, pero pueden efectuarse simultáneamente hasta encontrar su estado de equilibrio, y mientras un cambio externo no intervenga, el sistema permanecerá sin cambio. Los cambios externos que pueden tener influencia en que la reacción reversible proceda en una u otra dirección son: temperatura, presión y la concentración de los dos gases.

Al aumentarse la temperatura, o abatirse la presión o la proporción de CO_2 a CO aumente, la reacción procederá como sigue:



Pero al disminuirse la temperatura, o al aumentarse la presión, ó al aumentar la proporción de CO a CO_2 la reacción procederá como sigue:



Las reacciones en el alto horno, rara vez alcanzan el equilibrio. Para seguir los cambios físicos y químicos en el gas y en la carga, dividiremos el horno en 2 zonas. La cuba del horno la llamaremos zona de preparación y el vientre y el crisol zona de fusión, desde luego debemos tener en mente, que no puede haber una línea divisoria entre estas dos zonas.

ZONA DE PREPARACION.

La función de la zona de preparación es la de entregar la carga a la zona de fusión en un estado de reducción apropiado para su fusión final. La temperatura de la carga por lo tanto, debe de elevarse del ambiente hasta una temperatura tal que el hierro y la escoria empiecen a fundirse y el óxido de fierro este reducido completamente. No es posible dar el orden preciso en que las reacciones ocurren en esta zona, ya que la mayoría de ellas tienen un rango de temperatura con variaciones muy grandes, sin embargo, de acuerdo con varios estudios y experimentaciones, es probable que se lleven a cabo de la siguiente manera:

- | | | |
|-----|--|-------------------|
| 1. | Eliminación de humedad a los | 100° C |
| 2. | Eliminación del agua de combinación | 100° C - 800° C |
| 3. | $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{FeO} + \text{CO}_2$ | 400° C - 700° C |
| 4. | $2\text{CO} = \text{CO}_2 + \text{C}$ | 450° C - 650° C |
| 5. | $\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$ | 700° C - 800° C |
| 6. | $\text{C} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$ | 700° C - 1000° C |
| 7. | $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$ | 800° C - 1000° C |
| 8. | $(\text{CaO})_3\text{P}_2\text{O}_5 + 5\text{C} = 3\text{CaO} \cdot \text{P}_2 + 5\text{CO}$ | 900° C - 1000° C |
| 9. | Solución del C en el hierro | 1000° C - 1500° C |
| 10. | $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$ | 1200° C - 1400° C |
| 11. | Solución de P en el hierro | 1200° C - 1500° C |

12. Formación de escoria	1300° C
13. $MnO + C \rightarrow Mn + CO$	1350° C - 1450° C
14. $SiO_2 + 2 C \rightarrow Si + 2 CO$	1400° C - 1500° C
15. Solución de Si en el hierro	1400° C - 1500° C

ZONA DE FUSION.

A excepción de coque, no debe haber materiales sólidos en el crisol. El hierro y la escoria fundidas, solo parcialmente separadas, escurren a través de la carga de coque incandescente y cualquier remanente de óxido de fierro es reducido por el carbón del coque.



Esta es una forma de reducción directa (reducción por el carbón sólido) y la suma de las dos reacciones da:



Queda así claro, que el carbón es la base de todas las reacciones de reducción que tienen lugar en el horno ya sea en la forma de carbón sólido, (reducción directa) o después de la combustión a monóxido de carbono (reducción indirecta) así:



Como la primera reacción es endotérmica, y la segunda exotérmica, los operadores de alto horno deben de tratar a tra-

vés de una correcta preparación de la carga de disminuir hasta donde sea posible que se produzca la primera. Para ésto es necesario conocer con más exactitud, lo qué estamos tratando de decir por "reducción directa" ó "reducción indirecta".

Al combinarse el CO_2 con el carbón nos produce la reacción reversible $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$.

A temperaturas arriba de 700°C , la reacción se efectúa hacia la derecha, ésto es, el bióxido de carbono disuelve carbón y produce monóxido de carbono. Esta reacción es comunmente llamada en los medios de alto horno como "pérdida de solución" lo que implica que el carbón disuelto no llega a las toberas y por lo tanto, no alcanza su máxima eficiencia térmica.

A temperaturas abajo de 600°C , la reacción procede en la dirección contraria, en presencia de un catalizador apropiado tal como el Fe ó su óxido FeO , el monóxido de carbono es disociado en bióxido de carbono y carbono, el carbono es depositado sobre el catalizador.

La sílice que requiere temperatura de 1400 a 1500° C para su reducción, es probablemente reducida por el carbón.



El Si resultante de esta reacción, es disuelto en el hierro. La cantidad de ^{y Mn} Si que se reduce, depende de la temperatura y basicidad de la escoria.

Una escoria caliente y poco calcárea tiende a incrementar el "Si" en el arrabio; el óxido de Manganeso es también reducido en esta zona a "Mn".



El 50% - 70% del manganeso es reducido y pasa al arrabio. La proporción de este elemento en el hierro depende también de la temperatura y basicidad de la escoria. Una escoria caliente y calcárea incrementa la reducción del óxido de manganeso.

El fierro y la escoria pasan a través de la zona de combustión del coque, que es la parte más caliente del horno, elevándose sus temperaturas a más de 1350° C. A estas temperaturas, ambos son completamente fluidos y pueden correr libremente por los agujeros de sangría.

El "S" de la carga se combina con mucha facilidad con el hierro y puede ser removido solamente por el contacto que tiene con la escoria en presencia del carbón a las altas temperaturas que prevalecen en el crisol.



La desulfuración nunca es completa, algo de sulfuro de hierro siempre permanece disuelto en el hierro. Dependiendo aquí también la eliminación del azufre de la temperatura y basicidad de la escoria. Las escorias calientes y de alta basicidad permiten una mejor eliminación del azufre del hierro.

PROCESO DE SELECCION DEL ALTO HORNO

Después de aprobado el estudio de factibilidad por el Consejo de Administración de SICARTSA, se inició la preparación de las especificaciones para la compra de la planta.

En las mencionadas especificaciones se determinaron los siguientes puntos:

- 1) Alcance del suministro.
- 2) Requerimientos de producción.
- 3) Parámetros principales del alto horno.
- 4) Programa de suministro de ingeniería, equipos y materiales.
- 5) Normas de ingeniería a las cuales se deberán de sujetar los concursantes.
- 6) Programa de montaje.

Al mismo tiempo, se efectuó una precalificación de las compañías para el concurso de fabricación del alto horno, para esto, se tomó en cuenta lo siguiente:

- 1) Altos hornos instalados durante los últimos 5 años.

- 2) Similitud de los altos hornos construídos con el solicitado por SICARTSA.
- 3) Experiencia en instalaciones de altos hornos fuera de su país.
- 4) Tiempo de entrega del alto horno.
- 5) Plantas en operación a las cuales tuvieron acceso las compañías concursantes.
- 6) Datos referentes a capital social, organización administrativa, facilidades en México, etc.

Las compañías precalificadas durante el proceso fueron las siguientes:

Arthur G. McKee	Estados Unidos
Ashmores Benson & Peace and Co.	Inglaterra
Delattre Jeviver	Francia
Demag	Alemania
G.H.H.	Alemania del Oeste
Ishikawajima-Harima-Heavy Industries.	Japón
Italimpianti	Italia
Koppers Engineering Co. Inc.	Estados Unidos

Krupp Industrie in Stahlban

Alemania del Oeste

Nippon Steel Corporation

Japón

De las anteriores compañías precalificadas se retiraron antes y durante la evaluación de las ofertas:

Arthur G. McKee

Delattre Jeviver

G.H.H.

Koppers Engineering Co. Inc.

Krupp Industrie in Stahlban

FACTORES DE EVALUACION.

La evaluación fué llevada a cabo de acuerdo al sistema de dos etapas según reglas impuestas por el Banco Mundial.

Se solicitaron para el concurso, dos documentos "A" y "B" completamente sellados y recibidos por SICARTSA en presencia de todos los concursantes y de un notario público.

El documento "A", contenía la oferta técnica sin incluir precios y el "B" se refería a los precios de lo ofrecido en el "A".

Se efectuó una evaluación del documento "A" y se llevaron a cabo entrevistas con los diferentes concursantes, con el propósito de aclarar dudas existentes en sus ofertas, hacer las modificaciones necesarias y principalmente, tratar de que todos los concursantes tuvieran al máximo, el mismo nivel, tanto en calidad, tecnología y cantidad, con el fin de facilitar la comparación entre ellos.

El documento "B" referente a precios, fué sellado y depositado con el notario público y fué abierto posteriormente en fecha acordada durante la ceremonia de recepción de documentos.

Habiendo un sin número de modificaciones, adiciones y cancelaciones del equipo ofrecido: se solicitó un documento "C" que contenía los costos de estas, y que fueron entregados y abiertos en presencia de los concursantes y del notario público.

A*. Evaluación Técnica.

Cada oferta fué analizada e investigada por diferentes especialistas, en conjunto con el grupo de ingeniería de SICARTSA. Se adoptó el sistema de calificación por puntos para cada una de las secciones en que

la planta fué dividida, para obtener una calificación general de cada una de las ofertas.

B. Evaluación del Programa.

Un documento fué solicitado a cada concursante indicando el programa para entrega del equipo, el montaje de la planta, las necesidades de personal para dicho montaje y el grupo de supervisores.

C. Evaluación de Montaje.

A cada contratista le fué solicitado como parte de su propuesta, un desglose de los pesos y/o medidas de los diferentes equipos de la planta.

D. Obra Civil.

De la información proporcionada por el concursante se obtuvieron los volúmenes de excavación y las cantidades de concreto que serán necesarias para la cimentación y obra civil en general.

E. Normas de Ingeniería.

El grado de cumplimiento con las normas de ingeniería de SICARTSA variaron considerablemente entre los

concurantes y esto fué tomado en consideración durante la evaluación.

F. Refacciones.

A cada concursante le fué solicitado que proporcionara una lista de refacciones y precios para estas en su suministro, con el fin de obtener el costo real de la planta al final de la construcción.

G. Evaluación de Precios.

Fué solicitado al concursante un desglose de precios con sus proposiciones, de manera que la comparación de los precios pudiera ser basada en la información técnica de las unidades ó áreas.

De estos precios y en conjunto con aquellos calculados ó estimados por los ingenieros de SICARTSA, los precios de comparación fueron preparados como sigue:

1. Sumario de comparación de precios según documentos "B" y "C".
2. Comparación detallada de precios de planta según documentos "B" y "C".
3. Estimación del precio del contrato con las alternativas solicitadas.

4. Resumen del precio estimado del contrato y otros costos de SICARTSA.

FACTORES DE OPERACION E INGENIERIA:

Los principales factores que influyen en el diseño de la planta son considerados por el área como sigue:

1. Confiabilidad de operación: Esto es muy importante ya que va a ser inicialmente el único alto horno.
2. Producción requerida.
3. Posible rango ó índice de producción, especialmente durante el inicio de la operación.
4. Duración de la campaña, para asegurar la continuidad de las operaciones por un periodo tan largo como sea posible antes de la reparación del horno.
5. Flexibilidad de la operación. En el futuro puede ser necesario modificar las prácticas operacionales cuando diferentes materias primas estén disponibles.

EVALUACION DE LAS OFERTAS.

Durante esta etapa de evaluación, se consideraron los siguientes equipos como definitivos y representativos de las diferentes secciones de la planta.

Tope del Horno.

Debería ser tipo "Paul Wurth", Ashmores Benson, Italmimpianti y Nippon Steel Co. obtuvieron la licencia de la compañía fabricante para instalarlo en el alto horno de SICARTSA.

Sistema de Enfriamiento.

El más adecuado según los resultados obtenidos hasta la fecha, será el sistema ruso evaporativo "Licencitoring", condicionado a que las cajas de enfriamiento que son de acero vaciado, sean fabricadas por Licencitoring de Rusia ó por Nippon Steel Co. de Japón ya que son las únicas compañías con experiencia en la fabricación de este equipo.

Estufas con cámara de combustión externa.

Con este tipo de estufas se evita al máximo los choques tér-

micos entre la cámara de combustión y el emparrillado.

EVALUACION TECNICA:

Cada oferta fué examinada detalladamente después de hacer los cambios en los diferentes puntos importantes y se estableció un sistema de puntuación para obtener una calificación total para cada una de las ofertas.

La calificación técnica mostró que Ashmores ha sido la mejor oferta seguida por Italmianti, que fué aceptable requiriendo pequeñas modificaciones de su oferta.

Italmianti falló en producir una información satisfactoria y convincente en relación a programación y detalles de montaje. Estos pequeños detalles que generalmente no son valuales, se aplican particularmente a Italmianti ya que relativamente es un nuevo constructor de altos hornos, su primer horno puesto en operación en 1960, un segundo en proceso de diseño y construcción fueron suficientes para tomar en cuenta a esta compañía para esta sección del proyecto de SICARTSA.

Los técnicos de SICARTSA visitaron las instalaciones y los talleres de fabricación de Italimpianti y llegaron a la conclusión que Italimpianti es capaz de firmar el contrato para la construcción del alto horno de SICARTSA.

El precio de Italimpianti fue considerablemente más bajo que el Ashmores. Fué evaluado y aceptado técnicamente estando en segundo lugar.

CIERRE DEL HORNO SIN CAMPANAS

TIPO PAUL WURTH

Uno de los grandes problemas en el montaje del alto horno es el peso de los elementos constituyentes del cierre, un alto horno de las dimensiones del de SICARTSA exigiría tener un cierre con dos o tres campanas, con un peso de la pieza más grande de 100 ó 120 tons. a una altura de 80 metros, en cambio con el cierre sin campanas, la altura se reduce en unos 5 metros y el peso de la pieza mayor a unas 35 tons., con lo que la capacidad de la grúa del cierre baja de 120 a 30 tons. y el tiempo para el cambio de partes del cierre disminuye a un máximo de 8 horas y con un costo menor de las refacciones requeridas.

Además, siendo el proceso del alto horno tal que los gases reductores recorren el seno de la carga a contracorriente, si la distribución de la carga no es uniforme provocaría un acanalamiento de los gases elevando bruscamente la presión con problemas en el cierre del alto horno, mala distribución, calentamiento excesivo en ciertas regiones, etc. El cierre Paul Wurth permite al operador controlar la distribución de la carga casi perfectamente mediante el canalón distribuidor

que reparte la carga por áreas específicas y los espesores de cada capa de carga dependiendo del ángulo y de la velocidad con que se carga, además asegurando un buen sello de gas a altas presiones.

OPERACION

El material se carga directamente de la banda transportadora a una tolva de recepción desplazable hidráulicamente sobre rías, que alimenta a cada una de las dos tolvas colectoras que se encuentran debajo de la tolva de recepción, ambas tolvas colectoras se cierran herméticamente con una tapa-válvula superior y pueden llenarse indistintamente.

A ambas tolvas colectoras están conectados los tubos de retención con el dispositivo de sujeción de la carga y la válvula de sello inferior. La tapa de sujeción realiza dos misiones, una cuando la tolva está cerrada y llena de carga, con ello la válvula de sello no está sobrecargada, la otra regula el flujo de la carga.

La descarga de cada tolva es guiada a otra tolva en la línea central del horno, donde la carga cae en forma vertical a través del centro de la unidad de mando del canalón regulando

y depositando la carga, en el canalón distribuidor giratorio, el cual es accionado eléctricamente para su movimiento de rotación y para regular el ángulo de caída obteniéndose así una distribución homogénea de la carga dentro del horno.

SISTEMA DE IGUALACION DE PRESION

El sistema de igualación de presión, consiste en igualar la presión que existe en el tope del horno mismo, con la tolva receptora, para así poder abrir la válvula de sello y admitir la carga dentro del horno.

Si la presión en la tolva receptora es menor que la presión del tope del horno mismo, se tendrían serias dificultades para abrir la válvula de sello.

Los fluidos usados para la igualación de presión son:

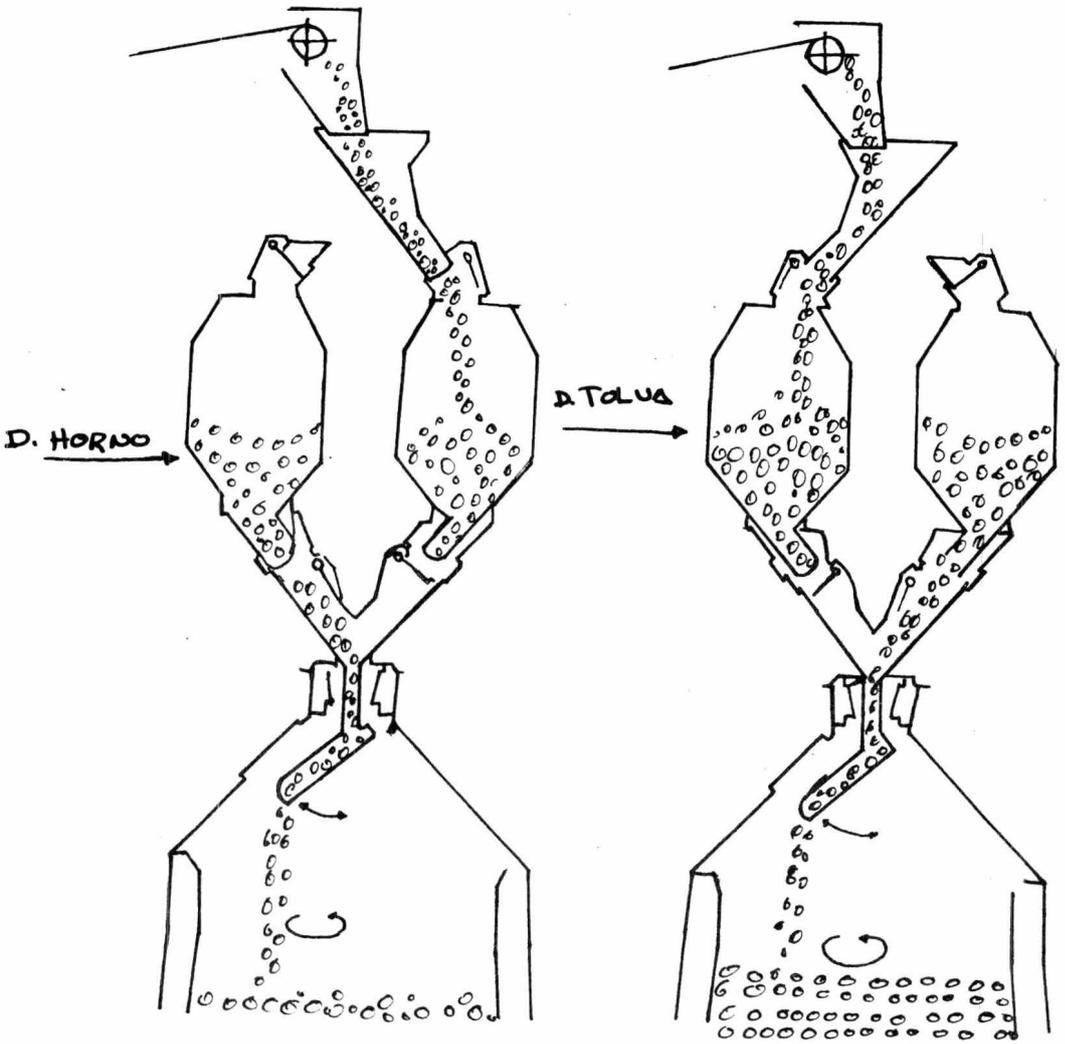
- a) Gas de alto horno semilimpio
- b) Nitrógeno

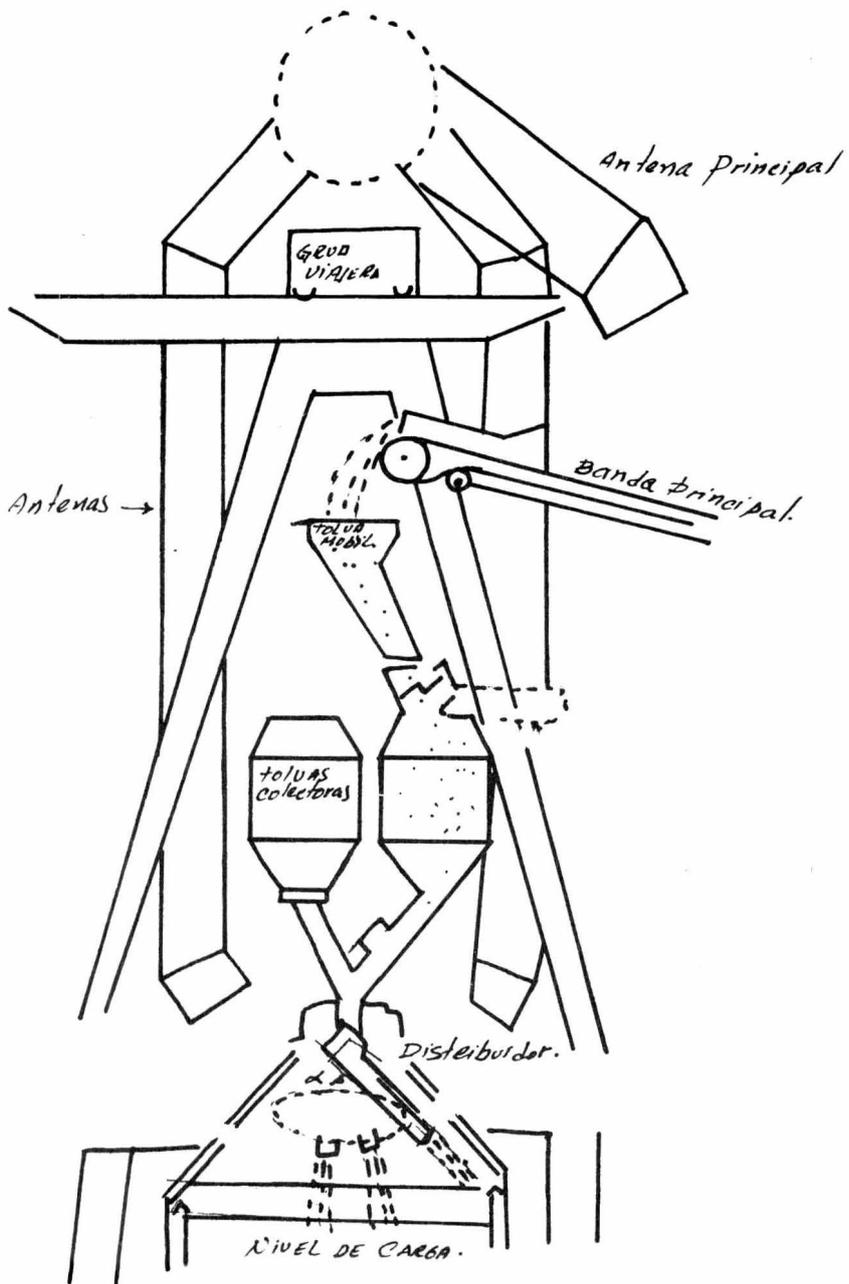
<u>EQUIPO</u>	<u>CANT.</u>	<u>CAPACIDAD</u>
Tolva de recepción de carga	1	
Tolvas colectoras de carga	2	32 m ³ c/u

<u>EQUIPO</u>	<u>CANT.</u>
Juntas de Expansión	1
Reductores	1
Canalón distribuidor	1
Sistema de igualación de presión	

En las dos siguientes hojas se muestran los diagramas explicativos simplificados de este sistema.

: SISTEMA PAUL WÜRTH :





CANAL BASCULANTE ANTES DE LAS OLLAS TORPEDO.

El alto horno No. 1 de SICARTSA consta de dos pisos de colada arreglados simétricamente.

Los canales principales son del tipo fijo mientras que los canales a través de los cuales el arrabio fluye a las ollas torpedo son del tipo "distribuidor móvil".

El metal y la escoria en forma líquida fluyen por los canales hasta el desnatador donde son separados. El metal ya sin escoria fluye por otros canales hasta las ollas torpedo en las cuales es transportado hasta el taller de aceración.

La capacidad de cada olla torpedo es menor a la de cada sangrado total, por lo que al llenarse una, es necesario cambiar de canal el metal fundido para recibirlo en otro. Hasta ahora, este cambio de dirección se ha venido realizando con un canal móvil montado sobre un mecanismo hidráulico y neumático con un centro de giro que permite un balanceo para alimentar a dos ollas torpedo alternadas; sin embargo, con este método tradicional el metal fundido cae y golpea siempre en el

mismo sitio del canal movable rompiendo rápidamente el material refractario, por lo que hay alto consumo de este.

SICARTSA empleará un canal fijo de sección trapezoidal con la base hacia abajo.

El metal pasará del canal a un depósito intermedio donde se juntará un pequeño estanque, disminuyendo así la erosión del refractario por el metal caliente; este recipiente es posible moverlo horizontalmente para alimentar, alternativamente a cualquiera de los dos lados superiores del canal trapezoidal para mandar el metal a dos ollas torpedo.

Este adelanto permitirá a SICARTSA ahorro en el consumo de material refractario y en los costos de operación, ya que es más fácil mover el recipiente intermedio que el canal completo.

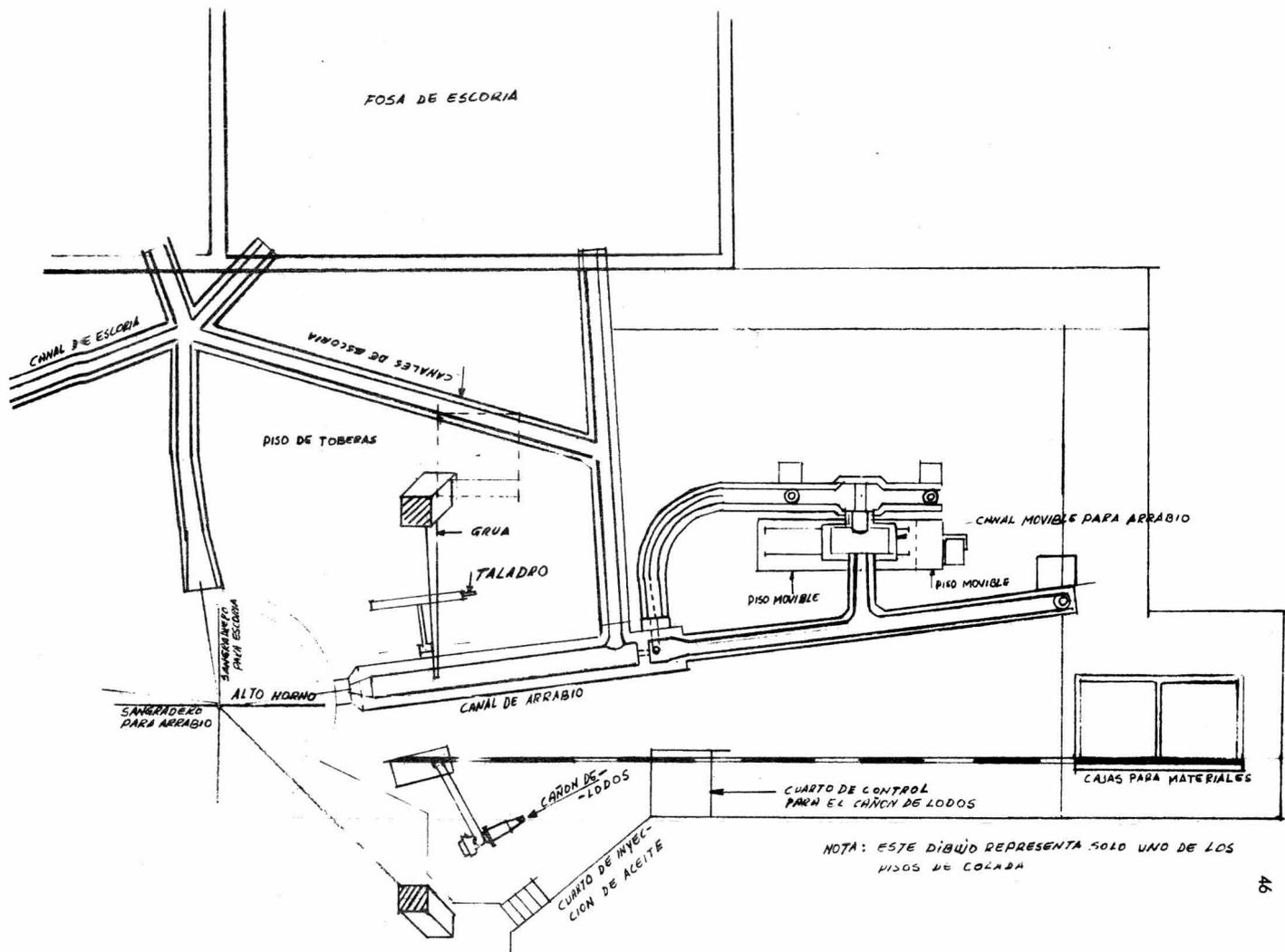
TRANSPORTE DE ARRABIO.

Para el transporte del arrabio líquido que se produce en el

alto horno a la planta de aceración, se han previsto seis ollas torpedo de 230 toneladas de capacidad cada una.

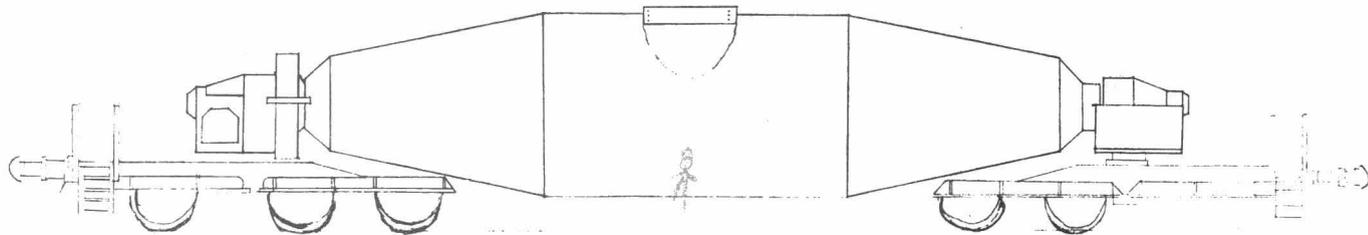
Las características principales de estos se dan a continuación:

Capacidad efectiva de arrabio	230 ton.
Altura máxima	4280 mm. <i>4,28 mts</i>
Longitud máxima	24 mts.
Ancho máximo	3250 mm.
Ancho de vía	1435 mm.
Carga máxima por eje	45 ton.
Capacidad de giro	360°
Sistema de frenos	Tipo neumático
Motores	440 V. A. C.



NOTA: ESTE DIBUJO REPRESENTA SOLO UNO DE LOS
 PISOS DE COLADA

Carro Termo



ENFRIAMIENTO DEL HORNO CON SISTEMA EVAPORATIVO CON PLACAS DE ENFRIAMIENTO

Dentro del alto horno se llevan a cabo reacciones exotérmicas que producen altas temperaturas en su interior, lo cual exige que esté revestido de material refractario y de no haber algún sistema de enfriamiento, éste se gastaría rápidamente, sobre todo en las zonas inferiores más calientes.

Hasta ahora, es usual el enfriamiento del alto horno mediante cajas de enfriamiento de cobre colocadas en diferentes niveles, empotradas dentro del refractario horizontalmente y enfriadas por agua.

Estas cajas de enfriamiento solo aprovechan el calor sensible que el agua puede recibir a través de sus paredes, además, por estar colocadas horizontalmente, estas cajas enfrían también las superficies horizontales en contacto con sus caras, exigiendo para eso gran cantidad de cajas y grandes espesores de refractario, también por su posición hay una zona más cercana al etalaje del horno en donde hay mayor esfuerzo térmico, que llega a provocar rupturas en las cajas, por lo que es necesario cortar el suministro de agua

para que no fluya hacia dentro del horno y dejar así zonas sin enfriamiento en la pared.

El alto horno de SICARTSA empleará un sistema con placas de enfriamiento de origen ruso llamado "STAVE-C OOLING" que no sólo enfría zonas aisladas sino que por cubrir todo el horno enfrían toda la superficie de la pared hasta $2/3$ de su altura, además este sistema mediante el control de presión del agua de enfriamiento, permite su evaporación parcial y así se aprovecha el efecto del calor latente de evaporación que es mayor que el sólo efecto del calor sensible, aumentando grandemente la uniformidad y la capacidad del enfriamiento.

Este sistema se divide en cuatro sectores de enfriamiento con "stave" cada sector es conectado con un tambor evaporativo localizados en la plataforma superior, los cuales reciben la mezcla vapor-agua. El agua por gravedad alimenta a las "staves" las cuales funcionan por el "efecto de termo-sifón". El vapor de cada uno de los tambores evaporativos es descargado a un cabezal general el cual descarga a unos condensadores diseñados a recibir una cantidad de 25 tons./hr de

vapor saturado a una temperatura de 150°C a 160°C y presión 5.29 kg/cm^2 el número de condensadores es tres, los cuales tienen tubos interiores fabricados de aleación aluminio/bronce, el fluido de enfriamiento para estas unidades de condensación es agua cruda, tomando este suministro de la red general.

El fluido de enfriamiento para este sistema es agua desmineralizada, el sistema opera con un flujo de $30\text{ m}^3/\text{hr}$ y a una presión de 4 a 5 kg/cm^2 .

La cantidad de agua desmineralizada de repuesto para el enfriamiento evaporativo con sistema de condensación es de $3.5\text{ m}^3/\text{hr}$, en caso de no tener sistema de condensación la cantidad sería de $25\text{ m}^3/\text{hr}$. El condensado es transportado a un tanque de agua de repuesto de agua desmineralizada el cual es de una capacidad de 25 m^3 . Este tanque cuenta con una batería de bombas de reemplazo de agua desmineralizada.

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE AGUA TRATADA

Este sistema de enfriamiento cubre las siguientes zonas:

Toberas, enfriadores de las toberas, agujeros de sangrado

de hierro y de escoria y soportes del ladrillo refractario. En estas zonas el fluido de enfriamiento es agua tratada recirculada con cambiadores de calor.

A) TOBERAS: Son las partes finales del alto horno por las cuales es conducido el aire a presión al alto horno y es de esperarse gran corrosión en ellas debido a que el aire a presión llegará a temperaturas de $1,100^{\circ}\text{C}$ o mayores. Además frente a las toberas se realiza la combustión del coque liberándose calor de combustión y desarrollándose una muy alta temperatura, la cual es disminuida en parte por la acción de los hidrocarburos del combustible inyectado.

Las toberas son de cobre fundido enfriadas internamente por agua y en el exterior a su vez por enfriadores también de cobre fundido con otro sistema de circulación de agua el cual está cubierto externamente por ladrillo refractario.

El número de toberas depende del tamaño del crisol, ya que es necesario colocar una cantidad de toberas tal, que no quede una zona sin trabajar bajo la acción del

aire, porque toda la columna de material sobre dicha zona estaría inerte, lo cual es altamente perjudicial para la buena operación del alto horno.

Al mismo tiempo que se cuida que el soplo cubra toda la periferia del crisol, es necesario que el aire penetre hasta el centro del mismo con el fin de evitar la formación de una zona inerte en el centro del crisol, lo que se logra con el diámetro de las toberas y la presión del soplo apropiados.

La penetración del soplo está supeditada al diámetro de las toberas, el volumen del soplo, la temperatura del mismo y el diámetro del crisol.

Normalmente las toberas son de una sola cámara de enfriamiento, pero en nuestro caso se tendrán toberas con doble cámara de enfriamiento lo cual permite en caso de falla, cortar el flujo de agua en la parte expuesta a la flama sin hacer un paro de emergencia pudiéndose hacer el cambio de tobera en un paro programado del alto horno, disminuyendo así las pérdidas de producción. Se tienen 24

toberas con un diámetro de 150 mm y con una proyección de la misma dentro del horno de 400 mm para asegurar una distribución y penetración del soplo satisfactorio.

- B) CRISOL: Forma la parte inferior del alto horno, la cual sirve como recipiente para el arrabio y la escoria en estado líquido.

Con el fin de lograr el máximo de duración del refractario del crisol es necesario proporcionarle un sistema de enfriamiento adecuado. El sistema de enfriamiento más común para crisoles es por medio de regaderas que cubren toda la parte exterior de la coraza (en este sistema se tiene gran pérdida de agua por evaporación). En nuestro caso se tiene un sistema de refrigeración de tipo evaporativo en el crisol, en el cual se necesita para su operación agua desmineralizada, como es un circuito cerrado, la pérdida de agua es mínima.

En México se ha usado tradicionalmente ladrillo refractario de alta alúmina para su revestimiento, requiriéndose paredes muy gruesas para soportar esta acción corro-

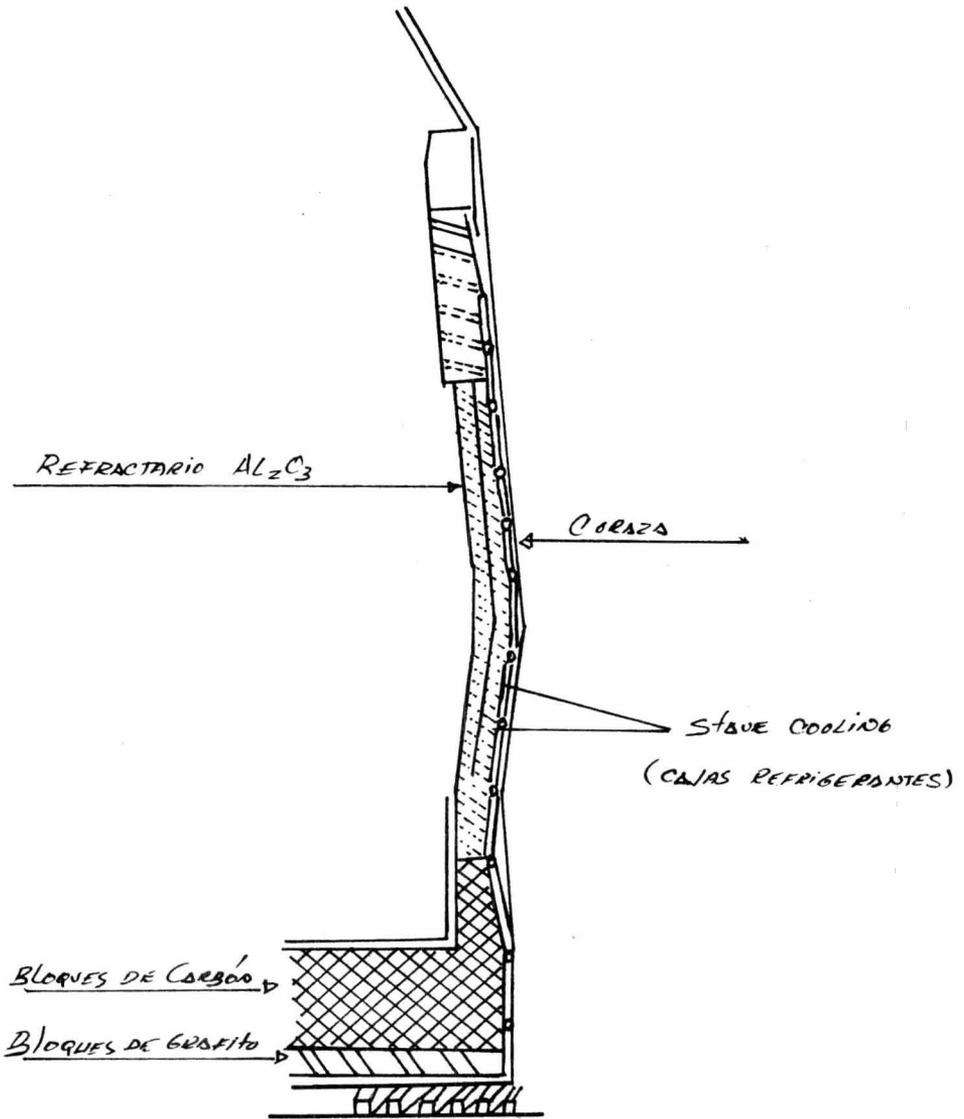
siva y reduciendo el volumen útil del crisol. En el caso de SICARTSA se usarán bloques de carbón, obteniéndose una disminución en el espesor de las paredes y aumentando el volumen útil del crisol. Esto se logra por las características especiales que tiene el carbón, como son: el de ser inerte a la acción corrosiva de la escoria (básica o ácida), el tener alta conductividad térmica ($40 \text{ B.T.U.}/\text{sq ft}/\text{hr}/^{\circ}\text{F}$) y principalmente, alta refractabilidad.

El enfriamiento de la parte inferior del crisol, es mediante soplo de aire obtenido de la atmósfera y distribuido a través de un sistema de tubería.

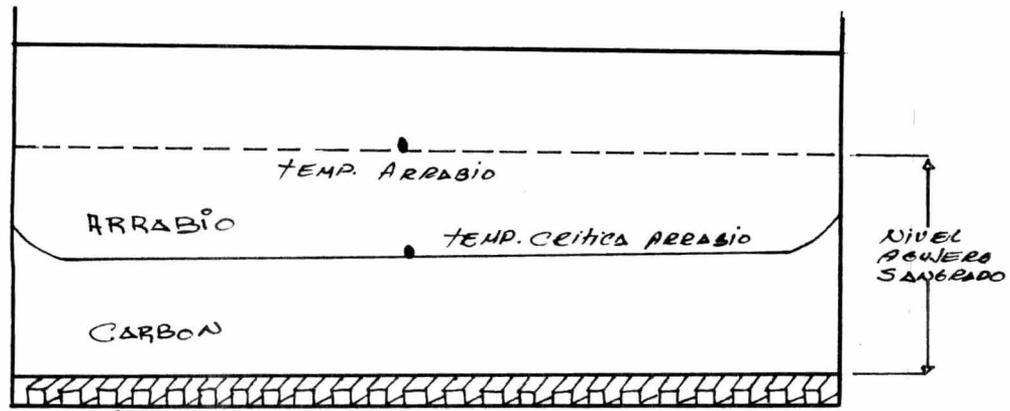
Dos sopladores localizados diametralmente son provistos para circular el aire de dos múltiples. De estos múltiples son ramificados a los tubos que constituyen el sistema de enfriamiento del crisol. Cada distribuidor está conectado con una válvula reguladora de paso que alimenta el aire apropiado a controlar la cantidad de calor distribuido.

Una eficiente protección de corrosión, es proporcionada por sistemas de tubería galvanizada.

ARREGLO STAVE - COOLING



: DIAGRAMA ENFRIAMIENTO FONDO CRISOL :



TUBOS RECTANGULARES (SIRE)

SISTEMA DE LIMPIEZA DE GASES

Los sistemas de depuración de los gases del tragante de los altos hornos han evolucionado grandemente durante los últimos años pasando desde precipitadores electrostáticos, las cámaras de sacos, ciclones secos y húmedos hasta las modernas torres lavadoras, pero el control de la presión en el cierre del alto horno ha sido un gran problema con los equipos antiguos.

El control se realizaba con una válvula entre el horno y los equipos de limpieza pero esta válvula producía alto nivel de ruido aún con diferentes formas de aislamiento.

El sistema de limpieza de gases que tendrá el alto horno de SICARTSA consta de dos secciones; una sección en seco, incluyendo un colector de polvos, y una sección húmeda, incluyendo el sistema Bischoff.

Sección Seca.

El gas que sale del tragante del horno es conducido a través de una tubería, la cual está protegida por ladrillo re-

fractario hasta el colector de polvo.

En dicho colector se separan las partículas más pesadas aprovechando la energía cinética (inercia) de éstas obligando a la corriente de gas a cambiar de dirección bruscamente con mamparas; originalmente el gas que viene del alto horno fluye verticalmente de arriba hacia abajo, el gas fluye por un tubo concéntrico casi hasta el fondo donde no encuentra salida y sube por los lados hasta la salida hacia la sección húmeda; en este cambio de dirección las partículas más pesadas no cambian de dirección y se depositan en el fondo del colector de donde son extraídas por equipo especial hacia camiones que los trasladan a la planta peletizadora donde se aprovecha el fierro y se evita también la contaminación ambiental.

El colector de polvo es de tipo convencional con diámetro de 11 mts. y puede contener 230 m³ de polvo, la parte inferior está dotada de un sistema para la descarga del polvo con válvula de doble sello. El polvo, después de pasar a través de las dos válvulas es descargado por medio de un molino amasador en húmedo desde el cual el polvo es enviado a almacenarse en contenedores y posteriormente evacuado mediante camiones.

La coraza del colector es enteramente soldada y está sostenida por una estructura de acero constituida por columnas tubulares unidas mediante tirantes. Sobre esta estructura están soportadas también las plataformas de servicio de las bocas de descarga, además están previstos pasillos y escaleras de acceso para las válvulas, registros, etc.

Sección húmeda, torre lavadora y separador de atomizado.

El gas entra a la torre lavadora, donde es enfriado y lavado, en la primera etapa se inyecta agua a través de varios bancos de espreas centrales para encontrarse con la corriente de gas en movimiento, el agua actúa como núcleo para las partículas de polvo que arrastra hacia las paredes y corre sobre ellas; por la gran energía que lleva, la mayoría del agua no es arrastrada con el gas, esta agua es acumulada en una bandeja intermedia y descargada vía un controlador de nivel al sistema de clarificador de aguas.

En la bandeja intermedia hay 3 aperturas venturis por donde el gas pasa siendo relevado de presión por el cambio de área de flujo; las aperturas están semicerradas por embones controlando el área de flujo con la distancia del embone a la

apertura desde el piso de palancas.

El gas atravieza la bandeja y cambia bruscamente de dirección con lo que parte del agua en suspensión se separa por su inercia, esta agua junto con la del separador de atomizado posterior es llevada vña dos bombas a la sección de lavado de alta energía.

Después de la torre lavadora el gas pasa al separador de atomizado donde nuevamente cambia bruscamente de dirección para el último secado y va hacia el gasómetro de la planta ya limpio ó en caso de emergencia a una chimenea antorcha capaz de quemar todo el gas producido en el alto horno.

Condiciones de operación máximas.

Entrada de Gas	325000 Nm ³ /hr
Temperatura entrada de gas	270° C
Presión entrada de gas	1.5 kg/cm ²
Concentración de polvo a la entrada	10 g/ Nm ³
Concentración de polvo a la salida	8 m g/Nm ³
Temperatura de agua a la planta	30° C
Presión del gas a la salida	650 mm H ₂ O

Agua necesaria para espreas de enfria- miento	650 m ³ /hr
Agua necesaria para espreas primarias	325 m ³ /hr
Agua total desde los espreadores	975 m ³ /hr

Sistema de medición y control para el proceso de limpieza de Gas.

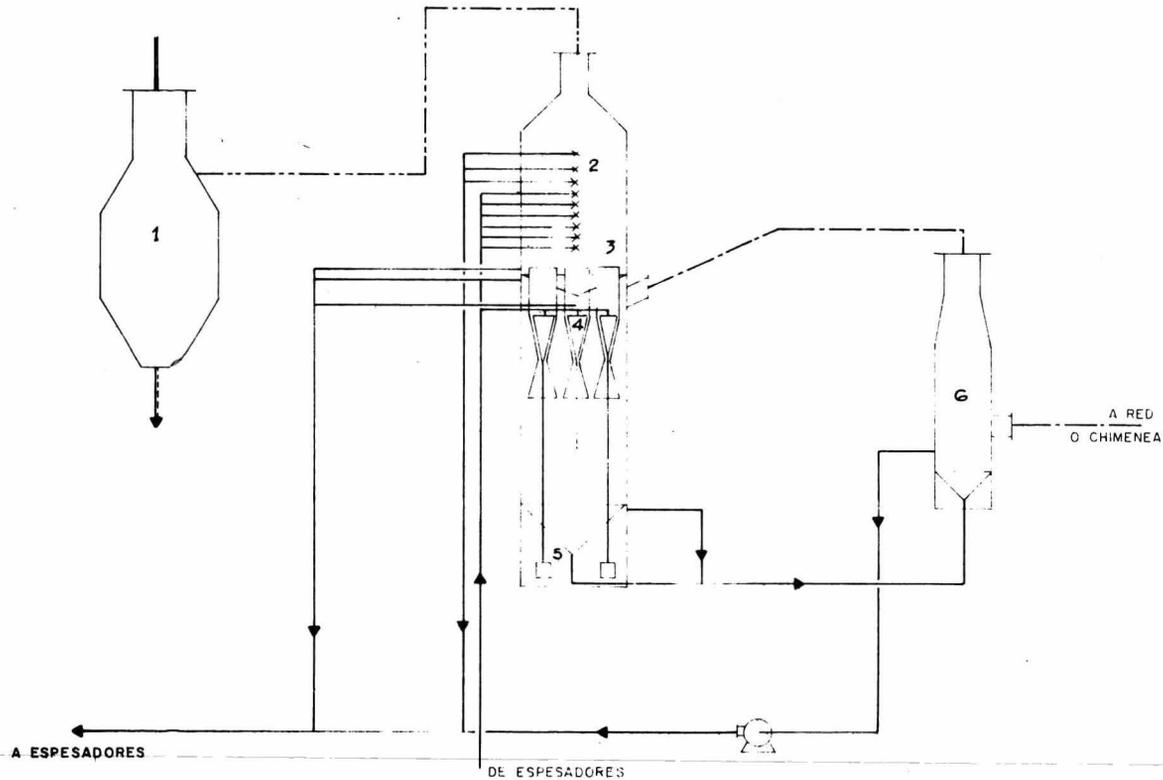
1. Medición de presión del gas a la salida del colector de polvos.
2. Sistema de medición de análisis de gas a la salida del colector de polvos, con sistema de muestreo y sistema analizador de tipo infrarojo.
3. Sistema de medición de flujo y temperatura del agua utilizada en el sistema para la limpieza del gas con registro, tanto de flujo como de temperatura.
4. Sistema de medición y control de presión diferencial entre el lavador y el cabezal de gas semilimpio con registro y alarma por alta presión diferencial y control de la misma.
5. Sistema de medición de flujo de gas limpio con compensación por presión y temperatura del mismo así como registro del flujo.

6. Sistema de medición y control de presión del gas limpio y registro de dicha presión.
7. Sistema de medición y control del flujo y presión de gas en la línea de gas al gasómetro, con compensación en la medición de flujo por presión y temperatura, así como el control de la presión desde el tablero del centro de control de flujos.

El agua de lavado siguiendo el diseño de toda la planta, está conectada a un sistema de circuito cerrado, pasando por clarificadores y espesadores, y empleando así el mínimo de agua tratada posible.

Como conclusión podemos decir que al combinar los efectos del colector de polvo en seco con la torre lavadora garantiza un contenido máximo de polvo de 8 mg/Nm^3 por lo que no se tendrá problemas de corrosión en los refractarios de las estufas por la acción de polvos.

SISTEMA DE LIMPIEZA DE GASES TIPO BISCHOFF



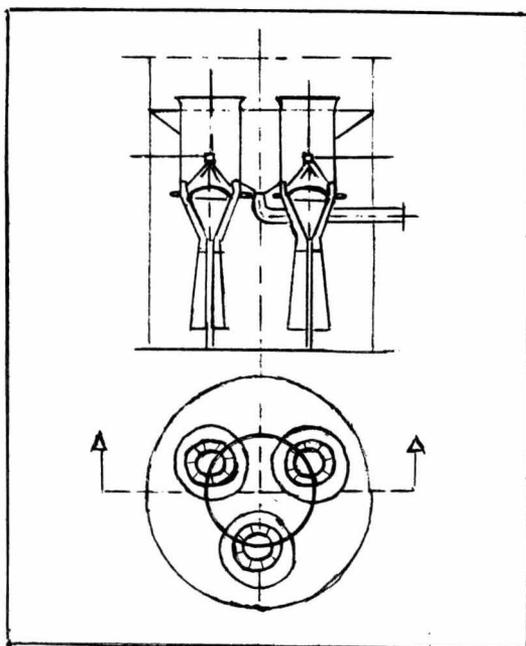
LEYENDA

- 1 COLECTOR DE POLVOS
- 2 CAMARA DE LAVADO DE ALTA PRESION Y ESPREAS
- 3 BANDEJA INTERMEDIA
- 4 ELEMENTO ANULAR
- 5 PALANCA CONTROLADORA DEL ELEMENTO ANULAR
- 6 DEHUMIFICADOR FINAL

CLAVES

- POLVO EN FORMA LIQUIDA
- GAS CON PARTICULAS PEQUENAS DE POLVO
- GAS LIMPIO
- AGUA
- GAS SUJO

UNIDADES DEL SISTEMA BISCHOFF



SINTESIS TECNICA PARA ESTUFAS DE ALTO HORNO.

El sistema de calentamiento del viento del alto horno No. 1 de SICARTSA está constituido de 3 estufas del tipo cámara de combustión externa.

Se seleccionó este tipo de estufas por la necesidad de alimentar al horno un alto volumen de viento a una temperatura también elevada.

Las 3 estufas deben calentar $225000 \text{ m}^3 / \text{hr}$ máximo de viento a una temperatura constante de 1200°C máximo, por esta razón ha sido necesario construir las estufas con cámara de combustión externa con revestimiento en ladrillo refractario especial (silice) en la zona de más alta temperatura, en las otras zonas se han usado refractarios tradicionales teniendo en cuenta las diferentes temperaturas.

Como se ha notado la silice tiene una variación de dilatación lineal en el rango de $650^\circ - 1500^\circ \text{C}$ como se ve en el diagrama, otras ventajas del ladrillo de silice son las siguientes:

- a) Resistencia alta y continua a la compresión hasta el punto de fusión.

- b) Buena resistencia a los alcalis.
- c) El precio es mejor que el del ladrillo aluminoso.

A continuación se describen las principales variables de operación:

1.	Número de estufas	3
2.	Número de estufas en combustión simultaneamente	2
3.	Número de estufas en soplo	1
4.	Flujo de soplo	225000 Nm ³ /hr
5.	Presión máxima de soplo	3.5 kg/cm ²
6.	Temperatura de soplo en el horno	1200 °C ✓
7.	Tiempo de combustión por estufa	70 min.
8.	Tiempo de soplo por estufa	40 min.
9.	Tiempo de cambio de combustión a calentamiento	10 min.
10.	Temperatura máxima en el domo	1550 °C
11.	Humedad del viento	35 g/Nm ³
12.	Valor calorífico del gas mezclado	1240 Kcal/Nm ³
13.	Temperatura máxima de los gases de combustión	338 °C

14. Flujo de gas de alto horno por estufa	42450 Nm ³ /hr
15. Flujo de gas de coque por estufa	6550 Nm ³ /hr
16. Superficie de calentamiento por estufa	50.107 m ²
17. Número de ventiladores	3
18. Flujo de aire por ventilador	80000 Nm ³ /hr

PREPARACION DEL GAS COMBUSTIBLE.

El gas combustible es una mezcla de gas de coquizadora (alto poder calorífico) y gas de alto horno (bajo poder calorífico); el mezclado se hace antes de llegar a las estufas mismas y en función de la cantidad de gas combustible necesario y poder calorífico necesario.

Poder calorífico necesario	1240 Kcal/Nm ³
Volúmen de gas combustible	49000 Nm ³ /hr estufa
Volúmen de gas de alto horno	42450 Nm ³ /hr estufa
Volúmen de gas de coquizadora	6550 Nm ³ /hr estufa

Los dos gases dosificados pasan a una cámara de mezclado de 56" de diámetro de placas de acero al carbón y tubería de la cual pasan a combustión.

CAMARA DE COMBUSTION EXTERNA.

En estas cámaras es donde se quema el combustible cuyos gases resultantes pasan a calentar el emparrillado de la estufa por donde después circulará el viento y se calentará a temperaturas hasta 1200°C durante el período prefijado.

De emplearse estufas de cámara de combustión interna, esta temperatura provocaría en la pared divisoria un grave esfuerzo térmico capaz de romper las paredes, lo que obligó a la selección de una cámara de combustión separada.

Equipo Principal.

1. Cámara de Combustión.

Consta de un cilindro de 40 m. de alto y 4 m. de diámetro de placas de acero al carbón para las zonas abajo de 29 m. por bajo esfuerzo térmico y acero 48 de grano fino para los demás y por esfuerzos térmicos grandes.

2. Recubrimiento interior refractario de alta alúmina (95% Al_2O_3)

3. Quemador de cerámica de silimanita y refractario de aluminio 37%.

CALENTAMIENTO DE LA CÁMARA DE ENREJILLADO.

Después de realizada la combustión de los gases productos de ella, pasan a la cámara de enrejillado a la cual ceden calor de combustión y sensible que es almacenado; posteriormente los gases salen ya casi fríos a una chimenea de 60 m. para protección de la contaminación.

Equipo Principal.

1. Cámara de enrejillado.
Cilindro de 43 m. de alto y 8 m. de diámetro de placas de acero al carbón similares a la cámara de combustión; recubrimiento refractario en alta Silica (95%) para las zonas de más esfuerzo térmico y alumina alta resistencia de diferentes calidades para otras zonas.

Materiales refractarios de alto silice para el revestimiento de la cámara y del emparrillado.

Cuando la temperatura del viento es baja se emplea como material refractario para la cámara de combustión y el emparrillado del almacén de calor, material refractario de alta alumina, sin embargo, si se empleara alumina para las estufas de SICARTSA este material refractario recrystalizaría vitrificándose y podría llegar a provocar que todo el emparrillado se quebrara, por esto en SICARTSA se acordó emplear material de alto sílice por primera vez en México.

QUEMADORES DE CERAMICA .

Para llegar a la temperatura deseada es necesario una gran cantidad de mezcla combustible, los quemadores tradicionales inyectan el gas combustible horizontalmente y la flama es difícil de controlar cuando hay altos flujos de gas; esto obligó a SICARTSA a elegir quemadores de cerámica que resisten muy altas temperaturas para permitir mezclar, regular y alimentar la mezcla combustible verticalmente permitiendo un mejor control de la flama en tamaño y forma y de la combustión misma.

CALENTAMIENTO DEL SOPLO.

Al llegar al final del período de combustión, que se controla por la temperatura registrada en los termopares que están

colocados en el domo y cuerpos de las estufas, la computadora del alto horno ordena al término de ésta y el cierre de válvulas de los elementos de combustión, ordena que el soplo proveniente del turbo soplador pase desde la parte inferior de la cámara de enrejillado fluyendo hacia el domo y por fin hasta la cámara de combustión de donde también recibe calor saliendo por la parte inferior de ésta.

Estos flujos son controlados por válvulas que a su vez son accionadas neumática y mecánicamente.

ENFRIAMIENTO DE LAS VALVULAS DE SOPLO CALIENTE.

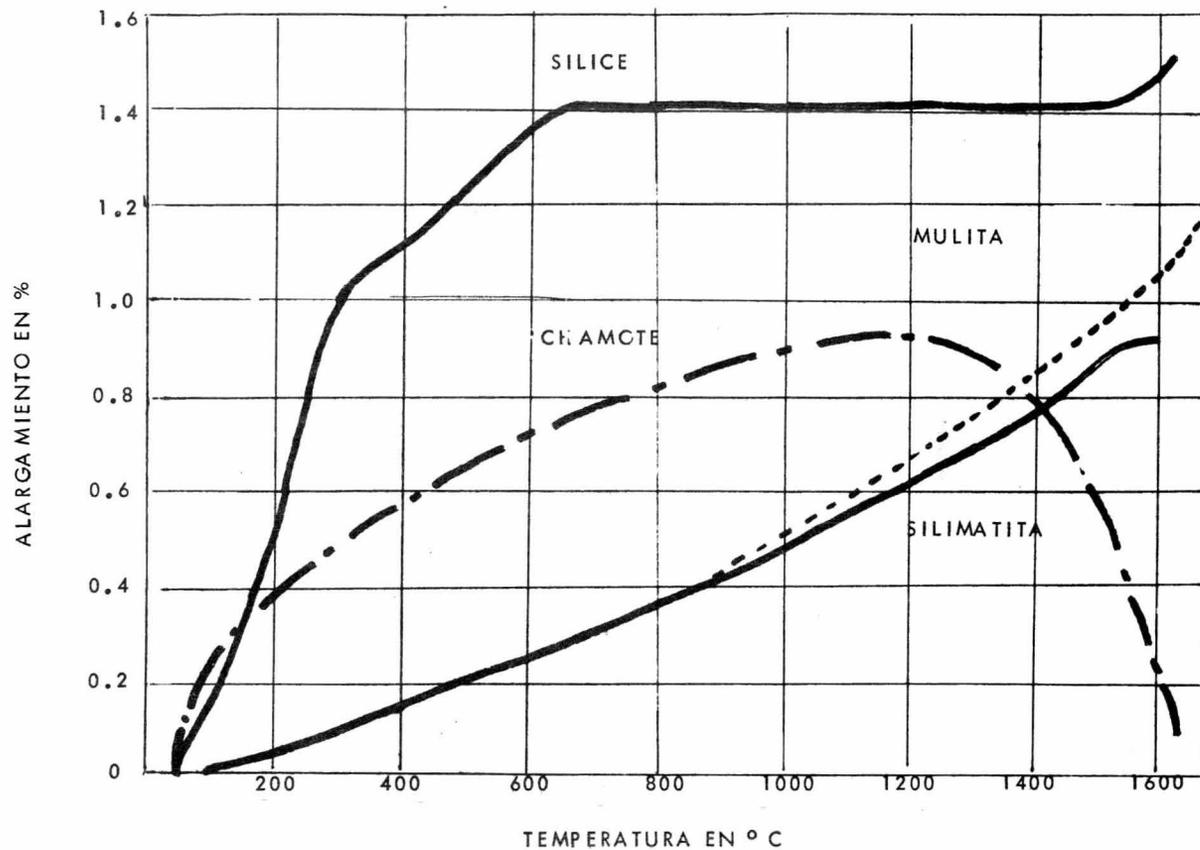
El soplo requiere 1200°C y esto implica un alto esfuerzo térmico en las válvulas de soplo caliente, por lo que se hace necesario un enfriamiento que se hará con agua desmineralizada en circuito cerrado, el agua a su vez es enfriada por intercambiadores de calor con agua tratada.

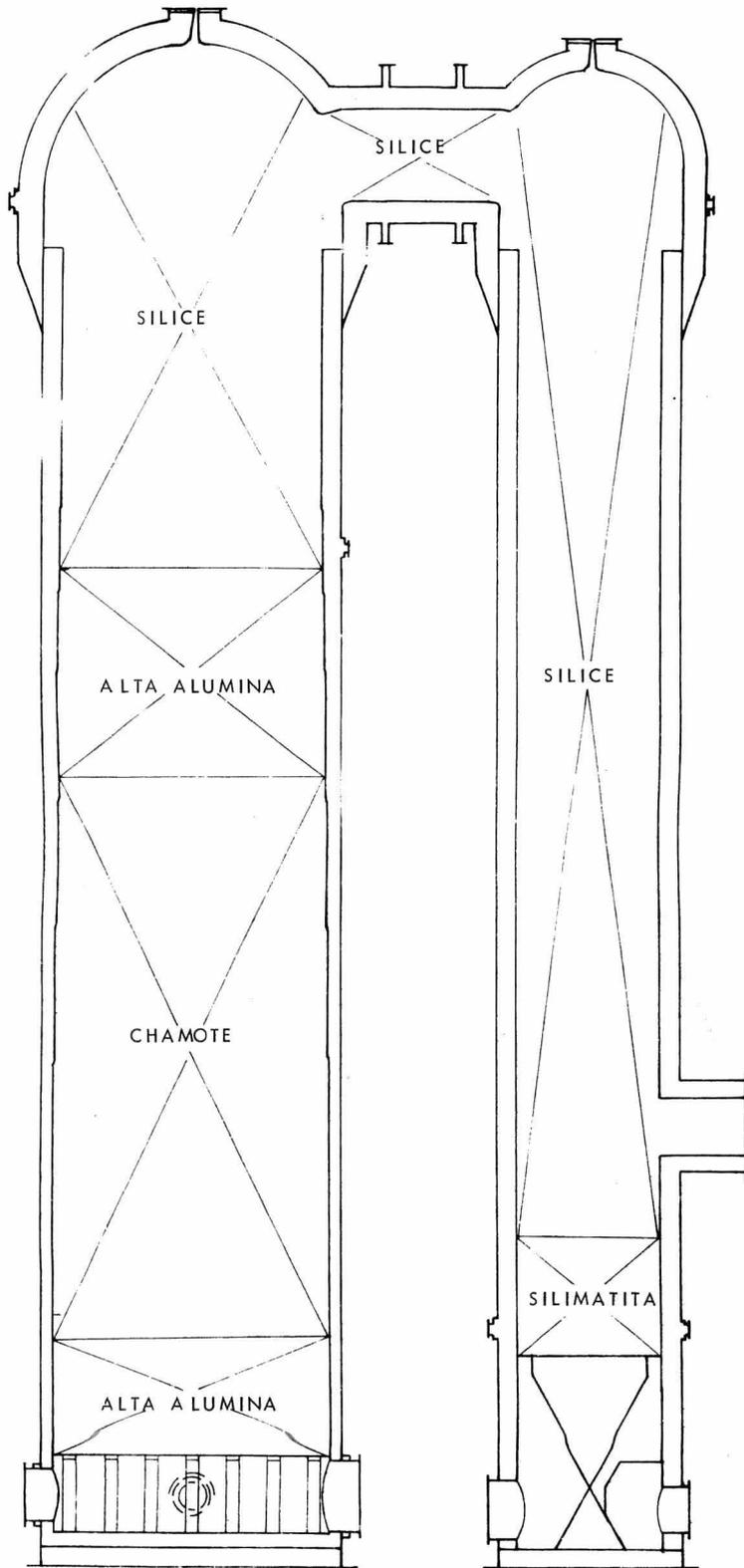
Cada intercambiador es suficiente para enfriar toda el agua del circuito por si solo, pero para mantenimiento y seguridad de las válvulas se desean dos (uno de los cuales como reserva).

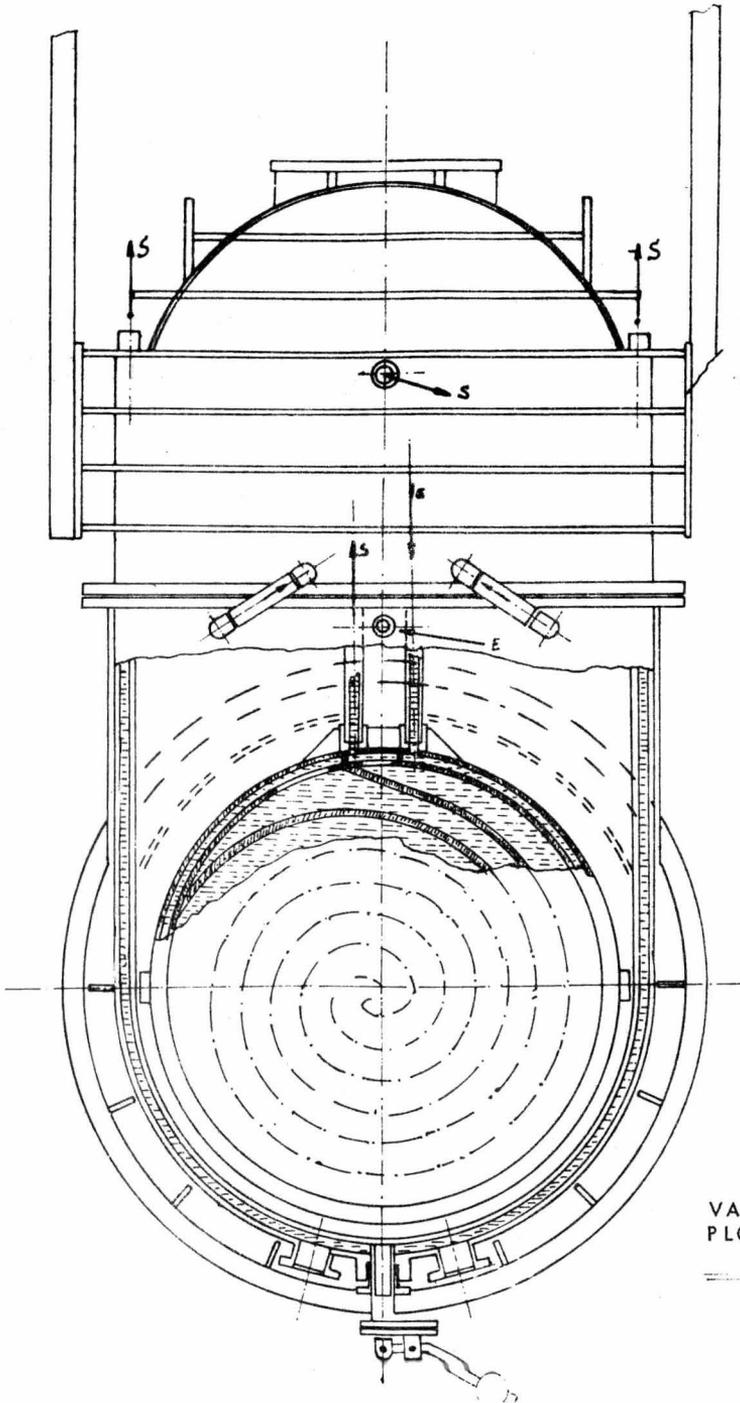
Este enfriamiento es aplicado para las paletas verticales y cuerpo de las válvulas.

El flujo requerido para este sistema es de $285 \text{ m}^3/\text{hr}$. El consumo de agua tratada para los intercambiadores es de $310 \text{ m}^3/\text{hr}$ mínimo $400 \text{ m}^3/\text{hr}$ máximo.

ALARGAMIENTOS EN % DE ALGUNOS TIPOS DE LADRILLOS REFRACTARIOS







VALVULA DE SO-
PLO CALIENTE.

C O M P U T A D O R A

Se dice en la industria siderúrgica que "no hay dos altos hornos iguales" lo cual es un índice de la gran complejidad de la operación.

Hasta ahora se han usado varios métodos de control del trabajo que van desde el manual, el semiautomático, las guías de operación computadas, y los intentos para control automático computado.

Económica y prácticamente se concluyó que en SICARTSA era necesario un control computado de secuencias, es decir:

- a) Secuencia de carga, ordenar a los equipos correspondientes el orden de cada componente, de la mezcla a cargar, pellets, coque, dolomita, etc.
- b) Secuencia para pasar de combustión a calentamiento de soplo en las estufas del alto horno.
- c) Control digital directo de la inyección de combustóleo.
- d) Acumulación y elaboración de datos.

En función del sistema de carga, la computadora controlará directamente todo el sistema, limitando las intervenciones del operador a la definición del ciclo de carga, de los relativos parámetros, del nivel de carga requerido en el horno. La computadora actuará de acuerdo a un ciclo de carga predispuesto, con la máxima potencialidad y precisión.

En el sistema de estufas, la computadora tiene la función de determinar las condiciones en las que es necesario el cambio de fase y verifica que se realice la secuencia de inversión.

La inyección de combustible en las 24 toberas será regulada en "control digital directo" por la computadora sobre la base de un flujo total establecido por el operador.

El sistema de acumulación y elaboración de datos proporcionará 3 tipos de informaciones: Data Logging, Reportes Administrativos e historia de la planta.

"Data logging".

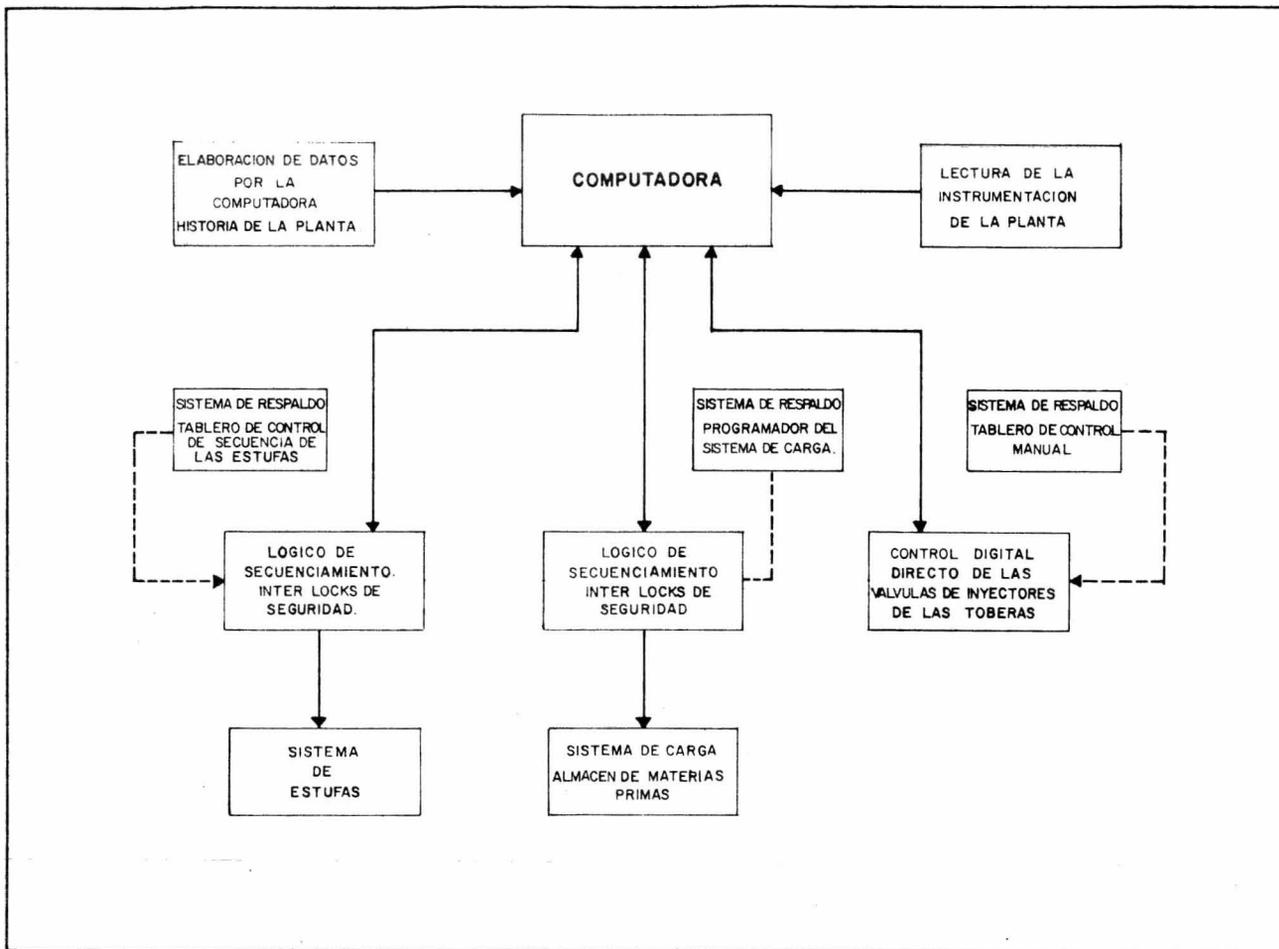
Esta función incluye la recopilación de toda la información

necesaria para establecer un reporte de la condición del alto horno, así como el reporte de las condiciones de los eventos o funciones de control llevadas a cabo por la computadora y por último un reporte de las condiciones de las alarmas. Para esta operación se considerarán 100 puntos de toma de datos situados en el alto horno, aproximadamente 50 digitales y 50 analógicos.

El sistema constará de un procesador central (CPU) el cual incluye como característica importante una unidad de multiplicación / división implantado en Hardware, una memoria principal de 48 K, cada palabra de 16 bits y equipo periférico de acoplo entre el operador y la computadora el cual incluye dos unidades C.R.T., una unidad lectora de cinta, una unidad perforadora de cinta, una unidad de teletipo adicional y dos impresoras de línea para las funciones de Data Logging y Reportes administrativos.

El sistema incluye protección de memoria, un sistema de interrupción de "multi nivel", un sistema de respaldo eléctrico de baterías en caso de falla de energía de abastecimiento y un panel de switches para la selección del "modo de control": automáticos, semiautomáticos ó manual.

El paquete "software" estandar será del tipo modular el cual permite la expansión de las funciones que desarrollará el sistema. El sistema completo consiste de un sistema de operación multiprogramada. Los paquetes de aplicación para desarrollar las funciones de control, así como el paquete que permite el acceso por parte del operador a la computadora serán: panel de control del operador, procesador de variables medidas, sistema digital y un lenguaje orientado a procesos.



ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA

Y BANDA PRINCIPAL

El almacén de materias primas consiste de 4 filas de tolvas, una fila con dos tolvas para coque, una fila con dos tolvas para pelets y 2 filas con cuatro tolvas cada una para misceláneos.

El total de capacidad de almacenamiento para:

Coque	es	12 Hrs.	o	sea	825 tons.
Pelets	es	16 Hrs.	o	sea	3630 tons.
Misceláneos	es	24 Hrs.	o	sea	1320 tons.

Esta capacidad de almacenamiento está referida a condiciones normales de operación del alto horno 3,300 tons./24 hrs. ✓

Cada fila de tolvas para coque y pelets descarga sobre los alimentadores vibratorios y éstos a su vez sobre una de dos bandas transportadoras la cual en turno, alimenta a las cribas para eliminar las partículas de menor tamaño del especificado, pasando éstas a la tolva de finos correspondiente, estos finos se envían a la planta peletizadora por medio de camiones.

Los materiales de tamaño correcto pasan a la tolva pesadora en turno, ésta registra el peso y descarga sobre alimentadores vibratorios los que finalmente alimentan la carga de materiales (coque y pelets) correctamente pesados y seleccionados por tamaño a la banda transportadora principal.

Los materiales misceláneos (cáliza, dolomita, escorias de alto horno y planta de aceración) almacenados en las tolvas descargan directamente sobre los alimentadores vibratorios en turno y éstos a su vez lo envían a las tolvas pesadoras, las que registran el peso del material y descargando sobre otros alimentadores vibratorios y éstos a su vez sobre una de dos bandas transportadoras la cual en turno alimenta a la banda transportadora principal.

La banda transportadora principal alimentará directamente al alto horno la materia prima necesaria.

Esta banda ha desplazado el uso de vagonetas obteniéndose con ello una mayor continuidad y mejor distribución de carga, además por ser hornos de alta producción la alimentación de éstos requeriría vagonetas de grandes dimensiones.

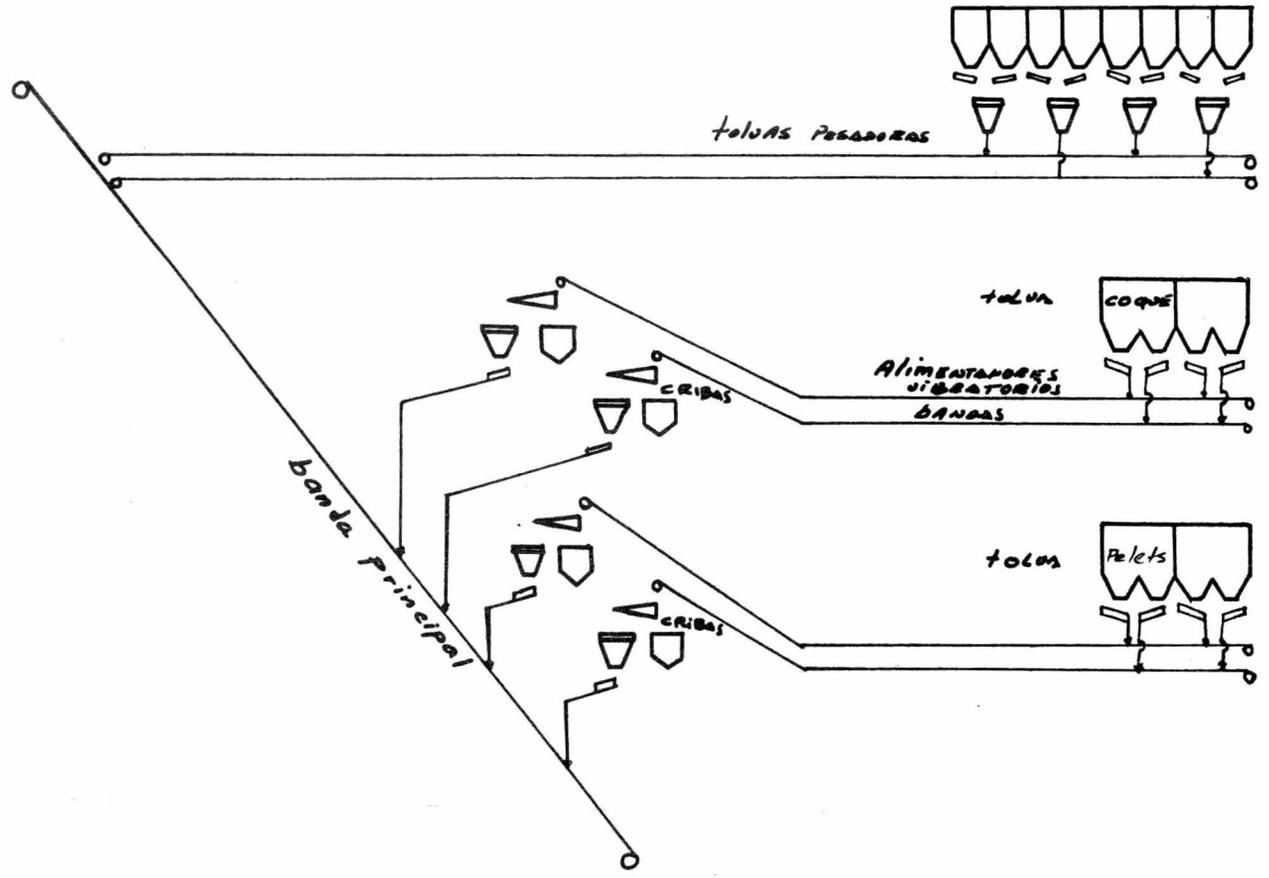
TABLA DESCRIPTIVA DEL EQUIPO DEL ALMACEN
DE MATERIAS PRIMAS

<u>EQUIPO</u>	<u>CANT.</u>	<u>CAPACIDAD</u>
Tolvas principales para coque	2	825 tons.
Tolvas principales para pelets	2	3630 tons.
Tolvas principales para misceláneos	8	1320 tons.
Transportadores de banda para coque	2	120 tons./h
Transportadores de banda para pelets	2	400 tons./h
Transportadores de banda para miscel.	2	300 tons./h
Cribas para coque	2	120 tons./h
Cribas para pelets	2	400 tons./h
Alimentadores vibratorios bajo tolvas de coque,	4	60 tons./h
Alimentadores vibratorios bajo tolvas de pelets,	4	200 tons./h
Alimentadores vibratorios bajo tolvas de misceláneos.	8	90 tons./h
Tolvas pesadoras para coque	2	17.5 tons.
Tolvas pesadoras para pelets	2	55 tons.
Tolvas pesadoras para misceláneos	4	7.5 tons.
Alimentadores vibratorios bajo tolvas pesadoras p/coque,	2	460 tons./h
Alimentadores vibratorios bajo tolvas pesadoras p/pelets,	2	2200 tons./h
Alimentadores vibratorios bajo tolvas pesadoras p/misceláneos.	4	90 tons./h
Tolvas de finos para coque	2	37.5 tons.
Tolvas de finos para pelets	2	165 tons.

ALMACEN DE MATERIAS PRIMAS

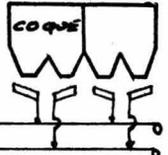
Por lo que respecta a Control de Proceso e Instrumentación, en el Almacén de Materias Primas se tienen los sistemas para pesado de los materiales que se usarán para cargar al alto horno, localizados dichos sistemas en tolvas pesadoras y en el transportador principal. Además se tiene un sistema de detector de HUMEDAD en cada una de las tolvas de COQUE para medición de la misma, así como dispositivos para la indicación de Nivel en las tolvas de carga de todos los materiales y un sistema de T. V. industrial para observación de la operación del transportador principal de carga del alto horno.

ALTO HAZARDO



tolvas pesadoras

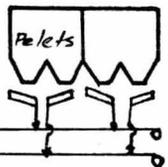
tolva



Alimentadores vibratorios
bandas

CRIBAS

tolvas



CRIBAS

banda principal

COMPOSICION MATERIAS PRIMAS

Carga ferrffera

- Pelets	95,2%
- Escoria acerfa	3,2%
- Minerales manganeso	1,6%

La composición química es la siguiente:

Materiales	Fe	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	Hum.
Pelets	64,0	4,0	5,5	0,5	1,0	0,0	2,0
Escoria A.	15,0	54,0	14,0	4,0	0,0	3,9	0,0
Min. manga.	8,2	8,4	13,5	10,3	3,0	50,1	1,5

La granulometría es la siguiente:

- Pelets	8 + 20 mm
- Escoria acerfa	20 + 40 mm
- Minerales manganeso	20 + 40 mm

Fundentes

- Caliza	70%
- Dolomita	30%

La composición química es la siguiente:

Fundentes

Caliza	52,1	2,0	0,2	1,5	40,9	2,0
Dolomita	34,0	2,0	21,0	1,5	41,0	2,0

Coque

Composición química

C	Cen. M.V.	H ₂	Hum.	CaO	SiO ₂	Mgo	Al ₂ O ₃	
88,6	10,4	1,0	0,4	4,0	2,5	43,5	1,5	30,3

Granulometría 20 + 60 mm

Arrabio características

Temperatura 1450°C

C 4,30

Si 0,7

Mn 0,8

S 0,03

P 0,15

Fe $100 - 5,98 = 94,02\%$

CONDICIONES OPERATIVAS PARA DOS DIFERENTES

MARCHAS: NORMAL Y FORZADA

<u>Variables</u>	<u>Unidad de medida</u>	<u>Marcha Normal</u>	<u>Marcha Forzada</u>
Temperatura aire	°C	1100	1200
Humedad aire	g/Nm ³	20	20
Oxígeno en aire	%	21	21
Combust. auxiliar a las toberas	-	aceite combust.	aceite combust.
Temp. adiab. de comb. a la tobera	°C	2200	2200
Presión gas a la boca	kg/cm ²	0,9	1,5

Marcha normal: temperatura aire 1100°C, presión gas
a la boca 0,9 kg/cm²

<u>Variable</u>	<u>Unidad de medida</u>	<u>Marcha Normal</u>
Aceite comb. inyectado	g/Nm ³	33,8
Consumo específico coque	Kg/t	478
Consumo específico a.comb.	Kg/t	44
Aire seco específico	Nm ³ /t	1315
Gas boca seco específico	Nm ³ /t	1890
Peso neto lecho de fusión	Kg/t	1525
Consumo específico fundente:		
Caliza	Kg/t	45
Dolomita	Kg/t	20
Escoria específica	Kg/t	278
Comp. gas boca: CO	%	23,2
CO ₂	%	18,2
H ₂	%	3,7
Poder calorífico gas boca	Kcal/Nm ³	796

<u>Variable</u>	<u>Unidad de medida</u>	<u>Marcha Normal</u>
Producción de arrabio máxima	t/24 h	3370
Aire seco	Nm ³ /h	185.000
H ₂ O total aire	Kg/h	3700
Aire húmedo	Nm ³ /h	189.000
Aceite combustible	Kg/h	6250
Gas boca seco	Nm ³ /h	266.000
Gas boca húmedo total	Nm ³ /h	280.000
Coque cargado	t/h	67,2

Marcha forzada: temperatura aire 1200°C presión gas
a la boca 1,5 kg/cm²

<u>Variable</u>	<u>Unidad de medida</u>	<u>Marcha forzada</u>
Aceite combus. inyectado	g/Nm ³	55,8
Consumo específico coque	Kg/t	439
Consumo específico a. combus.	Kg/t	71
Aire seco específico	Nm ³ /t	1270
Gas boca seco específico	Nm ³ /t	1850
Peso neto lecho de fusión	Kg/t	1525
Consumo específico fundente:		
Caliza	Kg/t	42
Dolomita	Kg/t	18
Escoria específica	Kg/t	271
Comp. gas boca: CO	%	23,1
CO ₂	%	18,1
H ₂	%	4,9
Poder calorífico gas boca	Kcal/Nm ³	824

<u>Variable</u>	<u>Unidad de medida</u>	<u>Marcha forzada</u>
Producción de arrabio máxima	t/24	3625
Aire seco	Nm ³ /h	191.000
H ₂ O total aire	Kg/h	3825
Aire húmedo	Nm ³ /h	196.000
Aceite combustible	Kg/h	10.700
Gas boca seco	Nm ³ /h	280.000
Gas boca húmedo total	Nm ³ /h	296.000
Coque cargado	t/h	66,3

TABLA QUE MUESTRA LAS CARACTERISTICAS DE
OPERACION NORMAL EN EL ALTO HORNO

Diametro del crisol	9.0 m
Superficie del crisol	63.63 m ²
Volumen de trabajo	1521 m ³
Volumen interior	1728 m ³
Carga ferrosa	1500 kg/t de arrabio
Pelets	100%
Contenido promedio de Fe	63%
Mineral de manganeso	25 kg/t de arrabio
Caliza	20 kg/t de arrabio
Dolomita	20 kg/t de arrabio
Escoria de aceración	50 kg/t de arrabio
Consumo de combustible	1715 t/24 h
Consumo especifico de coque en base seca	520 kg/t de arrabio
Consumo especifico de aceite	50 kg/t de arrabio
Producción promedio de arrabio	3300 t/24 h
Producción anual de arrabio	1,000,000 t/año
Presión promedio en el tope	0.9 kg/cm ²
Humedad total	18 g/Nm ³
Producción de escoria	290 kg/t de arrabio

Producción de gas de alto horno:

Especffica	3500 Nm ³ /t de arrabio
Hora	250,000 Nm ³ /h

COMBUSTIBLES AUXILIARES

Las razones para usar combustibles auxiliares son las siguientes:

Para disminuir el consumo de coque, es necesario precalentar el soplo al máximo posible. Las temperaturas alcanzadas en algunas operaciones llegan hasta los 1300°C , pero como al mantener estas temperaturas en el soplo, la temperatura de la flama frente a las toberas es demasiado alta, lo cual causa problemas en la operación regular del alto horno, para disminuirla hasta límites deseables, es necesario inyectar vapor o combustibles auxiliares por las toberas, los cuales al disociarse producen reacción endotérmica que disminuye la temperatura de la flama en esa zona, lográndose así un mejor aprovechamiento de la temperatura de soplo. Cuando en lugar de vapor inyectamos combustibles auxiliares, disminuimos todavía más, la cantidad de coque usado por tonelada de hierro y por consecuencia lógica disminuye la cantidad de elementos nocivos en la carga del alto horno, como es, el alto contenido de las cenizas de coque y de azufre.

Es lógico que la sustitución del coque nos ayudará también a aumentar la producción, ya que se utiliza con mayor eficiencia

el volumen del horno al cargarse con una proporción mayor de carga metálica por tonelada de combustible sólido.

La composición del aceite combustible usado en el alto horno de SICARTSA , es el siguiente:

Combustible auxiliar

La característica para el aceite combustible es la siguiente:

- Densidad	0,965 kg/l
- Viscosidad	280 s
- Azufre	2,8 %
- Poder calorífico	9570 kcal/kg

A un aceite combustible de este tipo, según el texto Trinks, Hawinney - Industrial Furnaces (vol. 2) John Wiley, 4a. edición, páginas 16 - 20, corresponde la siguiente composición porcentual en peso:

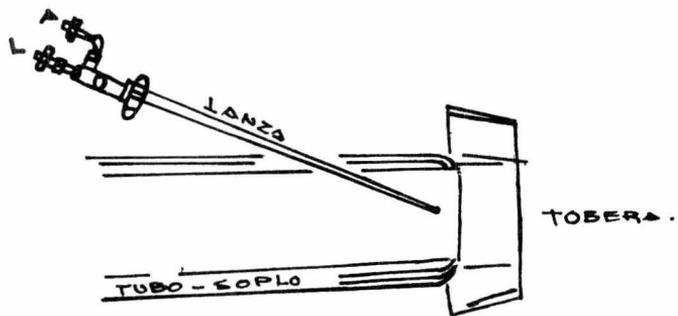
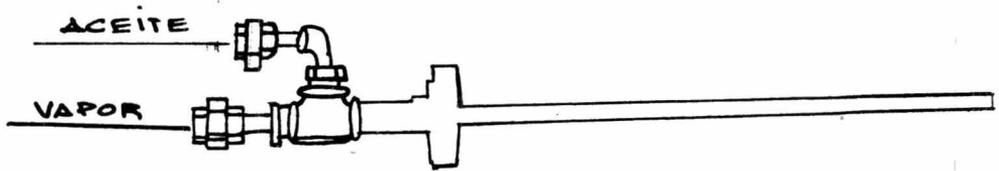
C	-	85,7%	96.2
			+ 2.8
H	-	10,5%	96.2
			96.2

(La fórmula condensada convencional $CH_{1,47}$)

y el siguiente calor de disociación a 25°C:

239 Kcal/kg

LANZAS ACEITE COMBUSTIBLE



PREVENCION DE LA CONTAMINACION

Tomando en cuenta que la tendencia actual en el mundo es controlar la contaminación ambiental, se decidió incorporar en esta planta un control para que la contaminación del aire, del agua, y la emisión de ruido sean reducidas al mínimo posible. Para esto se instalarán equipos de extracción de humo en los pisos de colada, por ejemplo: piqueras y canales.

En el almacén de materias primas, en todos los puntos de descarga y en las cribas vibratorias, se instalará un sistema de aspiración para hacer la limpieza de esta área y tener el menor porcentaje de emisión de polvo.

El nivel de ruido será reducido al mínimo, instalando silenciadores cuando sea posible, en las fuentes emisoras de ruido e incorporando el más moderno diseño para el equipo de control de presión del horno, en el sistema de limpieza de gases.

Todo el gas sobrante y el que se tira cuando se purga la planta, en caso de paros para mantenimiento, será quemado antes de descargar a la atmósfera por medio de una chimenea-antorcha .

La contaminación del agua ha sido prevista con enorme cuidado. No se arrojará ningún efluente contaminante en el Rto Balsas. Para que los desechos líquidos que producen los diferentes procesos cumplan con las normas que establece la ley; reciban un tratamiento parcial y luego total .

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

1. Metalurgia del hierro, Ing. Joel Ramirez AHMSA.
2. Enquiry Documents for Blast Furnace Plant SICARTSA 1972.
3. Blast Furnace Tender Assesment SICARTSA 1973.
4. Bell Less Top System (Paul Wurth Luxemburgo)
5. Italimpianti (Manual de Operación 1972)
6. Técnica SICARTSA No. 2, 1975
7. Prácticas Operativas, AHMSA e Italsider.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Prof. Manuel Gaviño Rivera por haber sido nuestro director de Tesis, así como a los maestros Manuel F. Guerrero Fernández, Kurt H. Nadler Gundeisheimer, José Campos Caudillo y Humberto Malagón Romero, que fueron miembros del jurado, y a todas las personas que desinteresadamente nos prestaron su ayuda.

