

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE QUIMICA**

**SINTERIZACION**

**APROVECHAMIENTO DE FINOS DE MINERAL DE  
FIERRO PARA ELABORACION DE MATERIA PRIMA  
EN LOS ALTOS HORNOS DE AHMSA, MONCLOVA**

**Francisco Javier Rocha Garza**

309.

**INGENIERIA QUIMICA**

**1975**



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. Tesis  
ADQ. 1975  
FECHA 1975  
PROC. M.F. 298



QUIMICA

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA

PRESIDENTE	PROF.	RUDI P. STIVALET CORRAL
VOCAL	PROF.	FERNANDO MALDONADO MENDOZA
SECRETARIO	PROF.	ALBERTO OBREGON PEREZ
1er.SUPLENTE	PROF.	HUMBERTO MALAGON ROMERO
2o. SUPLENTE	PROFA.	MA.EUGENIA NOGUEZ AMAYA

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: AHMSA, MONCLOVA, COAHUILA

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL SUSTENTANTE:

  
FRANCISCO JAVIER ROCHA GARZA

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL ASESOR DEL TEMA:

  
RUDI PRIMO STIVALET CORRAL

A MIS PADRES

ING. FRANCISCO ROCHA TREVIÑO

IRMA ESTELA GARZA DE ROCHA

A MIS HERMANOS

JORGE LUIS

GERARDO RAUL

EDUARDO RENE

IRMA GUADALUPE

A TODOS MIS FAMILIARES

A TODOS MIS AMIGOS

A ROSA MARIA

A MI AMIGO Y COMPAÑERO POR SU AYUDA Y  
CONOCIMIENTOS PROPORCIONADOS DURANTE-  
MI ENTRENAMIENTO EN LAS PLANTAS DE --  
SINTERIZACION.

ING. RAMIRO CERVANTES SANCHEZ.

## I N D I C E

- 1.- Introducción.
- 2.- Generalidades sobre Sinterización.
- 3.- Materias Primas.
- 4.- Preparación de las Materias Primas.
- 5.- Descripción de la Planta de Sinter N° 2.
- 6.- Cálculo de la Mezcla del Sinter.
- 7.- Cambios Físicos y Químicos en el proceso de Sinterización.
- 8.- Balance de Materiales.
- 9.- Control de Calidad del Sinter.
- 10.- Prácticas de Operación.
- 11.- Cuadro de Problemas en el Sinter terminado.
- 12.- Modificaciones a Equipos.
- 13.- Reportes de Control de Calidad
- 14.- Conclusiones.
- 15.- Bibliografía.

Además éste trabajo se presentará con transparencias de las dos plantas de Sinter de AHMSA, Monclova.

## 1.- INTRODUCCION

La sinterización es un proceso que proporciona materia prima para la obtención de arrabio en los altos hornos.

Durante el proceso se transforma material fino en grueso, por medio de una fusión parcial, con la que cambian completamente las propiedades químicas y físicas del material fino.

Cuando comenzó este proceso, su objetivo era recuperar minerales y materiales finos que se producían en los complejos siderúrgicos, pero al notarse que el "Sinter" tenía mejores propiedades (físicas y químicas) que el mineral grueso, se vió la conveniencia de producirlo a mayor escala; por lo que se procedió a moler mineral grueso para posteriormente sinterizar los finos.

Las propiedades que tiene el sinter sobre el mineral grueso son, entre otras:

1°.- Mayor superficie de contacto entre el material y los gases reductores del alto horno debido a la alta porosidad lograda.

2°.- La incorporación de escoriificantes en el sinter, ventaja durante la fusión en el alto horno.

Otro proceso que también aglomera finos de mineral es la peletización, teniendo también sus cualidades, comparando los pelets con el mineral grueso. (En este trabajo se le llamará mineral trozo).

Altos Hornos de México, S. A., cuenta con dos plantas sinterizadoras en Monclova, Coah., una de proceso no continuo y la otra de proceso continuo; y una planta peletizadora circular en La Perla, Chih.

En este trabajo se explicarán algunos puntos del proceso de sinterización, una descripción de la planta sinterizadora N° 2 de Monclova y del control de calidad del producto terminado.

Además el trabajo va acompañado por una serie de transparencias de las dos plantas de Sinter en Monclova.

## 2.- GENERALIDADES SOBRE SINTERIZACION

Se cuenta en la actualidad con los siguientes procesos para aumentar la granulometría de los finos que contienen fierro.

GRANULACION

BRIQUETIZACION

PELETIZACION

SINTERIZACION

### S I N T E R I Z A C I O N

Es un proceso por el cual las partículas finas de materiales de fierro se convierten en aglomerados de mayor tamaño mediante una fusión parcial, tomando en cuenta que no se puede alimentar material fino a los altos hornos.

El principio de aglomerar materiales por medio de una fusión parcial se conoce desde hace mucho tiempo, pero la sinterización que se usa en la actualidad comenzó como un proceso no continuo, en la industria --no-ferrosa a fines del siglo XIX. (12 Cap. 4).

En la Ciudad de Cananea, Chih., México, se construyó la primera cadena continua de sinterización en 1860, inventada por Dwight y Lloyd y --actualmente, se sigue usando el mismo principio. (3 Pág. 35) (12). (La --planta N° 1 es proceso Greenwalt, no continua y la N° 2 es continua ----Dwight y Lloyd).

Esta primera planta se usó para sinterizar minerales de sulfuros de

cobre y plomo.

La primera planta de sinterización para la industria ferrosa, se hizo en Birdsboro, Pensilvania en 1910. Esta primera cadena de 1x7.70 metros, producía 140 Tons. netas diarias usando como materia prima solamente polvo de colector de alto horno, que contrasta con la planta N° 2 de AHMSA que tiene una cadena de 3x46 metros y produce nominalmente 4,500 - Tons. netas diarias.

Se encontró que la sinterización resultaba más económica si se utilizaban finos de mineral de fierro y otros materiales de recuperación -- dentro de las siderurgias, haciéndose así en AHMSA.

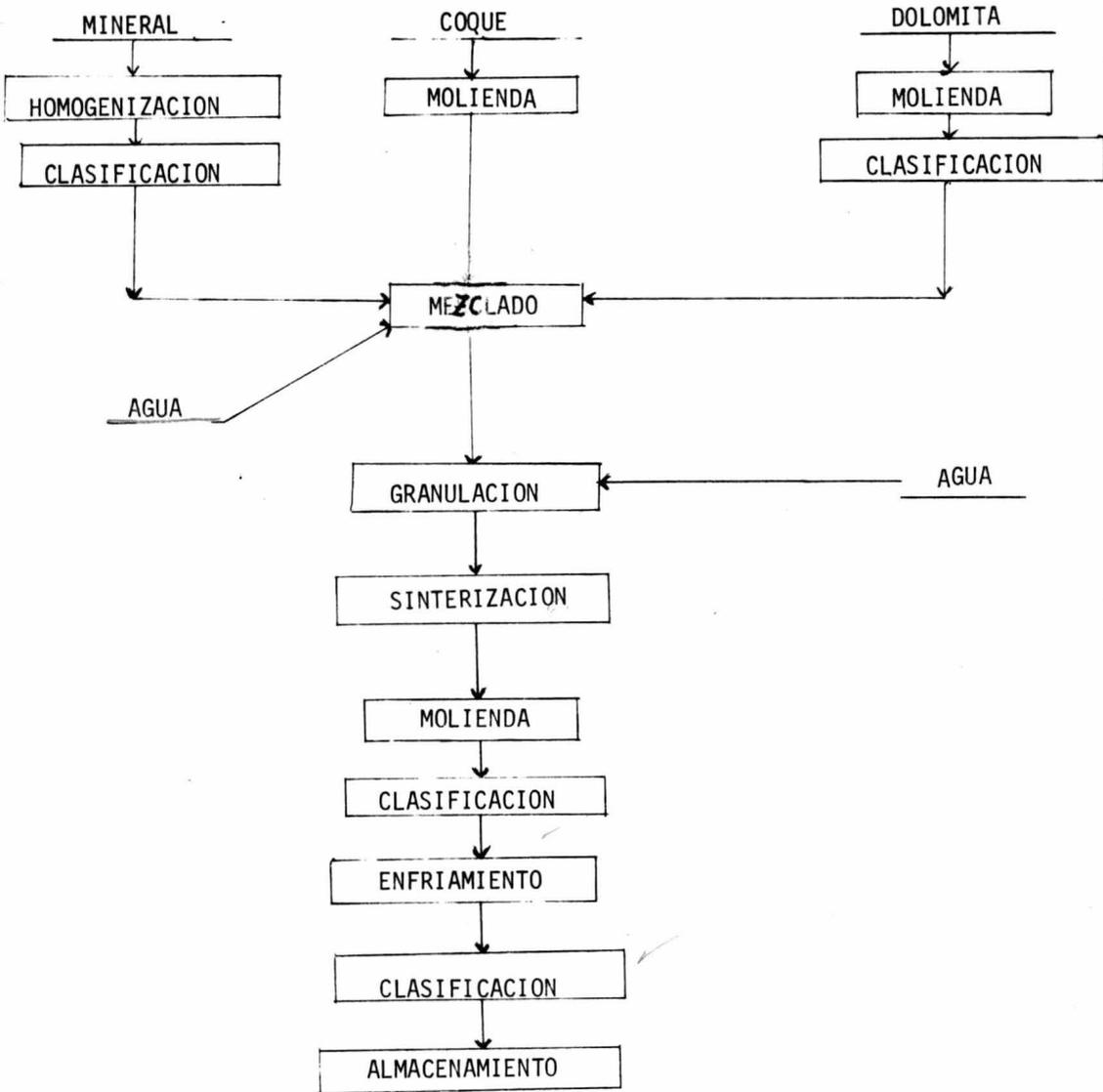


DIAGRAMA DE BLOQUES



LISTA DE EQUIPO DEL PLANO DE LOCALIZACION

A - APILADOR DE MINERAL (fino-trozo-pelet).

B - BANDAS

B-1 - Salida del volteador.

B-2 - Bandas del patio de Minerales.

B-3 - Bandas de servicio (minerales y/o fundentes)

B-4 - Bandas de Coque.

B-5 - Bandas para el alto horno (mineral trozo-pelets-sinter)

B-6 - Bandas del Molino de Minerales.

B-7 - Bandas del Molino de Dolomita.

B-8 - Bandas de sinter.

B-8-1 - Salida del enfriador.

B-8-2 - Bandas de Finos.

B-8-3 - Bandas de sinter a los altos hornos.

B-8-4 - Bandas de colchón.

B-9 - Bandas de mezcla para sinterización.

C - CRIBAS.

C-1 - Criba de minerales y fundentes.

C-2 - Cribado en caliente.

C-3 - Cribado en frío.

D - MEZCLADORES.

D-1 - Mezclador primario.

D-2 - Mezclador secundario.

E - ENFRIADOR CIRCULAR DE SINTER.

F - ABANICO PRINCIPAL

G - CAMPANA DE ENCENDIDO.

H - DOSOMETROS DE LA PLANTA.

I - MANTENIMIENTO Y ALMACEN.

J - OFICINAS.

K - CADENA DE SINTERIZACION.

M - MOLINOS.

M-1 - Molino de Mineral.

M-2 - Molino de Dolomita.

M-3 - Molino de Coque.

P - PULVERIZADOR DE DOLOMITA.

Q - QUEBRADORA DE DOLOMITA.

R - RECOGEDOR DE MINERAL (fino-trozo-pelets).

S - CICLONES DESPOLVADORES.

T - TOLVAS.

T-1 - Del volteador de carros.

T-2 - De materiales misceláneos.

T-3 - De sinter de retorno.

T-4 - Del molino de minerales.

T-5 - Lido-Materiales (sinter-trozo, fino, pelets).

T-6 - De Dolomita fina de la planta de sinter.

T-7 - Del molino de Dolomita (fino-trozo-gravilla).

T-8 - De caliza fina de la planta de sinter.

T-9 - De Coque para el molino de coque.

T-10- De finos de retorno de recirculación.

T-11- De sinter colchón.

T-12- De sinter terminado para los altos hornos.

V - VOLTEADOR DE CARROS DE FFCC.

## DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE SINTERIZACIÓN

En sinterización se aglomera una capa poco profunda de partículas finas, por transferencia de calor y fusión parcial de la mezcla.

El calor se genera por medio de la combustión de un combustible sólido que se añade a la mezcla de finos que se va a aglomerar. Esta combustión se inicia encendiendo la superficie de la capa, por medio de quemadores de gas o de aceite, después de esto, a la zona de alta temperatura formada se le obliga a moverse (descender) a través de la capa por una succión aplicada por abajo de la capa.

Dentro de esta zona de alta temperatura, las superficies de las partículas alcanzan la temperatura de fusión y los componentes de la ganga se separan para formar una escoria semilíquida.

La unión se efectúa por la combinación de la fusión, crecimiento de grano, y la separación de la escoria. (12 Pág. 223).

La producción de gases a partir del combustible y de los fundentes, crea una condición espumosa, que aprovecha el aire que entra para apagar y solidificar el borde posterior de la zona de fusión que avanza hacia la parte inferior de la capa de material. El producto final así formado consiste de una masa celular de mineral unido por una matriz de escoria. Esta masa celular tiene multiporosidad, propiedad que le ayuda como materia prima en los altos hornos.

Durante el proceso, el aire inducido se precalienta por el sinter -

caliente, que está sobre la zona de combustión y fusión y el calor sensible contenido en los productos de la combustión y en el exceso de aire, se transfiere a la parte inferior de la capa, abajo de la zona de fusión. Esto forma una distribución de temperaturas a través de la capa de material, lo que origina una serie de zonas separadas de diferentes condiciones tanto físicas como químicas.

En trabajos de experimentación en las plantas piloto, se han definido cinco zonas diferentes durante el proceso de sinterización.

Cada una de estas zonas tiene propiedades diferentes que las diferencian entre sí, estas zonas son: (12 Pág. 225) (4 Pág. 1) (Figura 1).

#### PRIMERA ZONA: SINTER TERMINADO

En esta zona tenemos ya el producto deseado en el proceso, además - tenemos un gradiente de temperatura desde casi la ambiente en la superficie de la capa hasta la temperatura del borde posterior de la zona de fusión que alcanza hasta  $1,425^{\circ}\text{C}$ . El carácter físico de esta zona está en la solidificación de la matriz de escoria líquida. También ocurren cambios tanto físicos como químicos en esta zona, como la oxidación de la magnetita a hematita (1 Pág. 48) y el crecimiento de grano de los cristales de óxido de hierro.

#### SEGUNDA ZONA: COMBUSTION Y FUSION

Dentro de esta zona es donde la oxidación del carbón a monóxido y a dióxido de carbono proporciona la mayor cantidad de calor para la formación de escoria y para la fusión de las partículas de mineral.

Se alcanzan temperaturas hasta de  $1,425^{\circ}\text{C}$ , y los fundentes calcinados reaccionan con los componentes de la ganga para formar la fase semi-líquida de escoria.

La reducción de la hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) por medio de monóxido de carbono, que se inicia en la zona de calcinación continúa teniendo lugar, y una parte considerable de la hematita original se puede reducir a wüstita ( $\text{FeO}$ ) (1 Pág. 48), si el contenido de combustible es muy alto. Además una gran parte del azufre en los sulfuros se quema a bióxido de azufre en esta zona.

#### TERCERA ZONA: CALCINACION DE CARBONATOS

Ya en esta zona la corriente de aire y gas está suficientemente caliente para calcinar los carbonatos y se tiene la cantidad suficiente de monóxido de carbono para iniciar la reducción de hematita a magnetita. Físicamente, algunas de las partículas grandes se rompen debido a los esfuerzos térmicos, y algunos de los micropelets formados en el mezclado de los materiales también.

#### CUARTA ZONA: SECADO Y PRECALENTAMIENTO

Dentro de esta zona la mezcla de materiales se ha calentado lo necesario para volatilizar la humedad libre de la carga. Los óxidos de hierro hidratados sufren disociación térmica, parte del azufre de los sulfuros también se elimina y puede empezar un rompimiento parcial de los micropelets más débiles.

#### QUINTA ZONA: MEZCLA HUMEDA

Esta es la parte inferior de la capa de mezcla y tiene por lo general las mismas características que la mezcla inicial. Aquí la corriente de aire y gas cedió ya su calor sensible a la parte superior de esta zona, estando la parte inferior a la misma temperatura que la mezcla total.

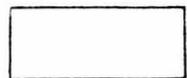
El contenido de humedad de la parte superior de esta zona es elevado, debido a la condensación de la humedad eliminada de las zonas superiores.

Si se tiene exceso de humedad, se pueden llenar los poros con agua, lo que causaría la destrucción de los micropellets y una disminución seria de la permeabilidad de la capa. (En AHMSA trabajando con mucha humedad disminuye la succión y al mismo tiempo bajan las temperaturas, causando sinter crudo y muy fragil) (12 Pág. 227).

Varios autores han estudiado las diferentes zonas durante el proceso de sinterización y han encontrado las relaciones mostradas en las figuras 2 y 3.

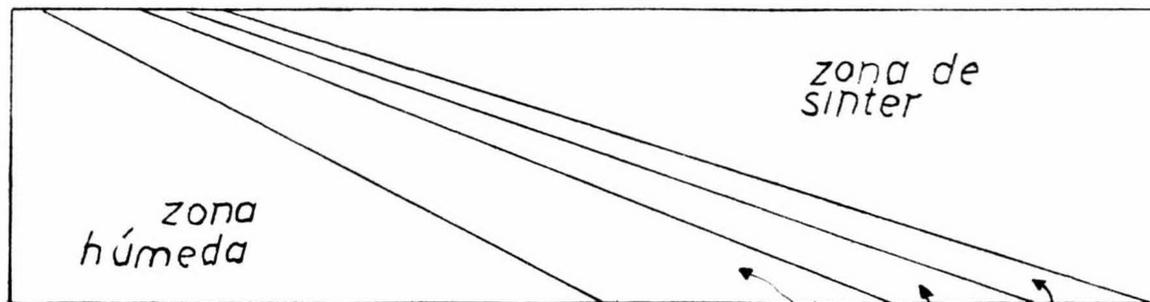
La combustión del combustible sólido de la mezcla y la propagación de la zona de fusión dependen grandemente de la facilidad de tener aire en exceso; para asegurar un flujo de aire adecuado, la mezcla a sinterizar se prepara para que mejore la permeabilidad ya sea esponjándola o micropelletizando las partículas finas a pseudo-partículas más gruesas.

campana



cadena 

flujo  
de  
aire 



zona de precalentamiento y secado

zona de calcinación

zona de combustión y fusión

FIGURA 1

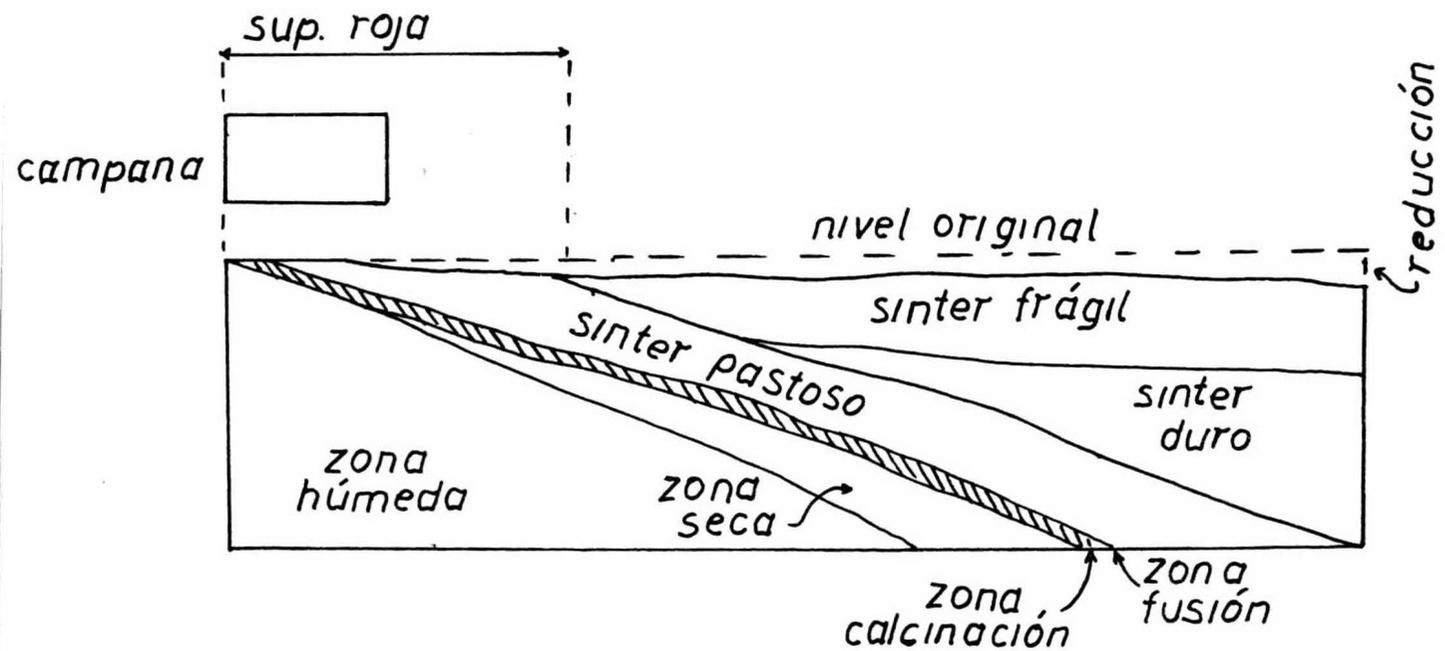


FIGURA 1a  
(3 pág 142)

UNION DE AGLOMERADO POR LA FORMACION DE PUENTES SOLIDOS ENTRE LAS PARTICULAS. (10).

Para lograr la aglomeración de las partículas sólidas se puede formar un puente sólido entre ellas de las siguientes formas:

- A - Sinterización. (Fusión Parcial).
- B - Reacciones químicas, en la peletización.
- C - Fusión: Ya que en el punto de contacto entre las partículas se formará el puente sólido.
- D - Endurecimiento de agentes aglutinantes, si se usan cementantes inorgánicos, se formará un puente de mortero entre las partículas durante el fraguado.
- E - Cristalización de materiales disueltos. Si se granula un material húmedo y después se seca, los sólidos disueltos en el líquido se cristalizan y forman puentes sólidos en los puntos de contacto. Estas partículas disueltas pueden ser del mismo material a granular o pueden ser un material añadido para lograr la granulación.

## 3.- MATERIAS PRIMAS

Las materias primas usadas en la planta de sinter N°2 de AHMSA son, en general:

- 1.- Minerales de fierro.
- 2.- Recuperados de fierro.
- 3.- Combustible.
- 4.- Fundentes.

1.- Minerales de Fierro

Los finos de minerales de fierro que se producen durante la explotación de los bancos de las minas, durante la molienda y beneficiado de -- los mismos se usan en sinterización.

El proveedor principal de AHMSA es su mina de fierro de La Perla, - Chih., de donde en góndolas de ferrocarril envían el mineral menor de -- 6.3 mm. a Monclova.

Además se tienen contratos con otras minas de fierro que proporcionan mineral, ya sea fino o de mayor tamaño llamado trozo.

Cuando se tiene mineral de tamaño mayor de 6.3 mm. se muele y tritura en el molino de minerales que forma parte también de la planta N° 2 y de aquí se aprovecha para la sinterización el fino obtenido.

El análisis promedio del mineral "La Perla" es:

$$\text{SiO}_2 = 4.50$$

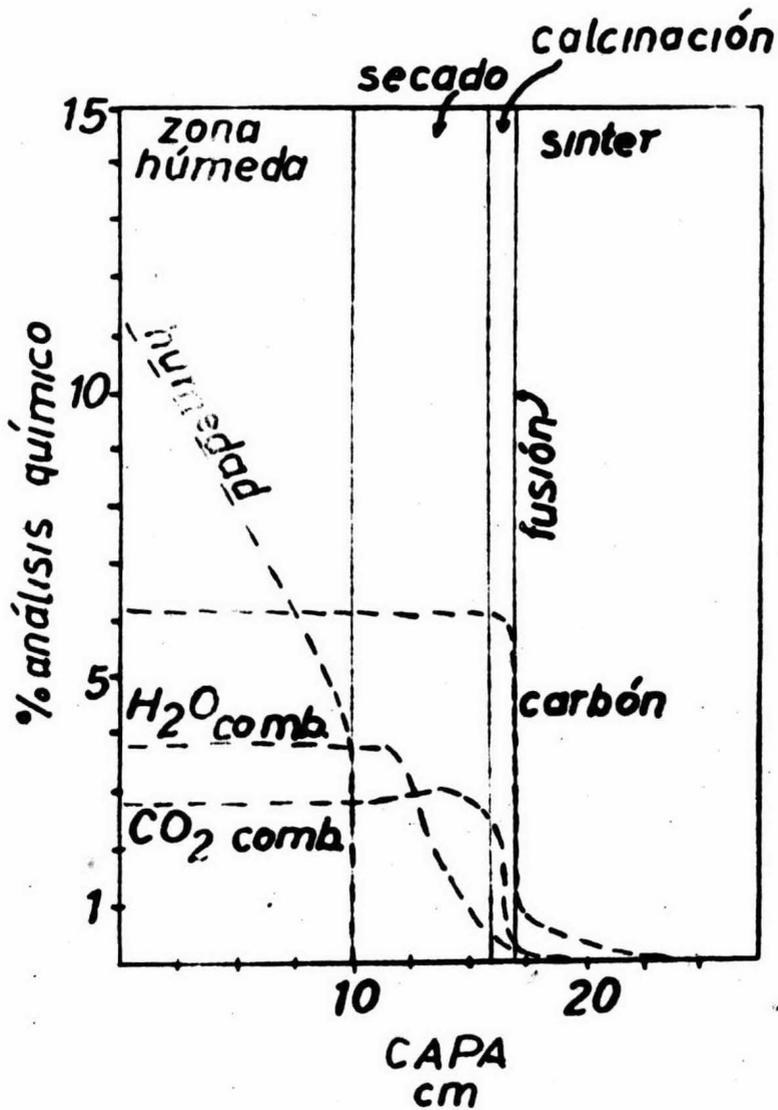


FIGURA 2  
(12 pág 2 26)

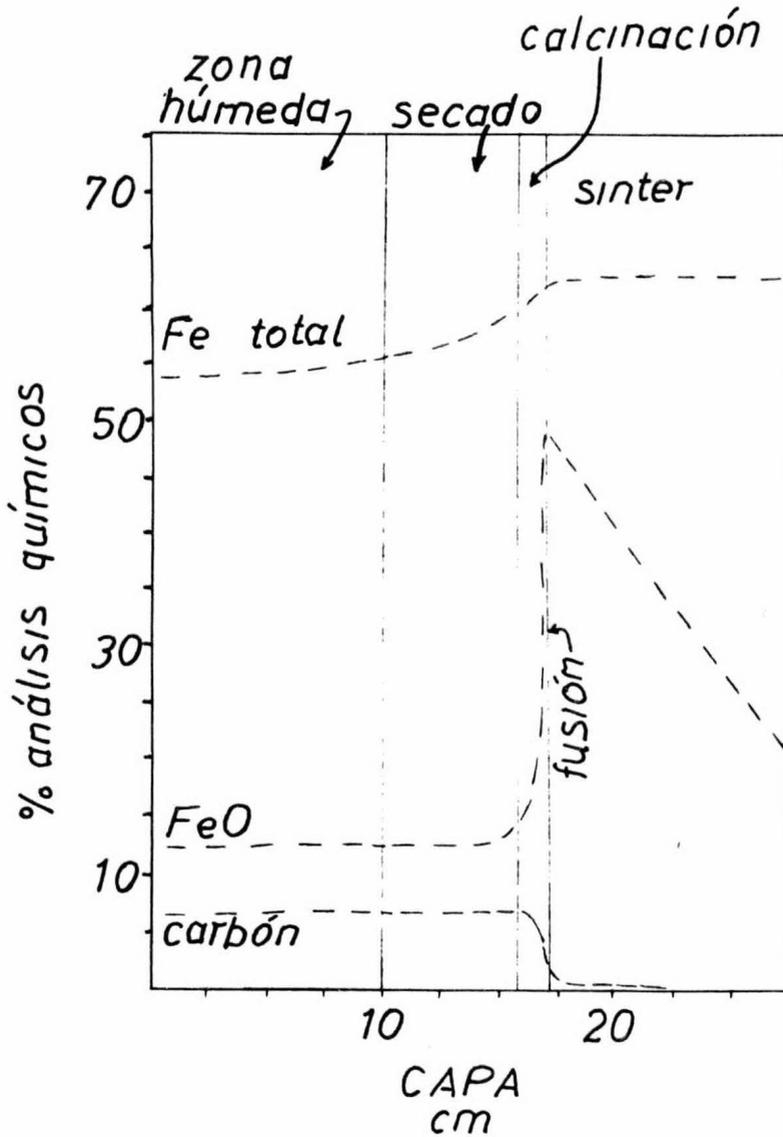


FIGURA 3  
(12 pág 227)

P	=	0.36
S	=	0.052
CaO	=	1.90
MgO	=	Trazas
Fe	=	60.40

Las otras minas que envían mineral de fierro a la planta son:

Fino Hércules: (Coahuila, de Fundidora Monterrey).

Fino Monterrey: (De HYLISA, almacenamientos que no usan).

Local y La Negra: (Minas cercanas a Monclova).

Quilá: (Sinaloa).

Gilda: (Sinaloa).

Leopoldo III: (Sinaloa).

(Estos cinco últimos minerales se usan para producir sinter de bajo fósforo, en la planta de sinter N° 1, que sirve para producir arrabio de fundición).

Sol y Luna: (Zacatecas) usado también para producir sinter de bajo-fósforo, con la inconveniencia que tiene cobre.

## 2.- Recuperados de Fierro

En las siderúrgicas existen materiales de recuperación interna que debido a su análisis químico promedio hacen que sean económicamente utilizables y con granulometría apropiada son usados en el proceso de sinterización como recuperados.

Estos recuperados que se están usando en la actualidad son:

- A - Polvo del colector de los altos hornos.
- B - Escama de lingote en laminación.
- C - Escoria "Tipo C" de los hornos de aceración Siemens-Martin.
- D - Finos de sinter de retorno.

Y próximamente se usarán, quizá, los polvos del sistema de limpieza y las escorias de la acería B.O.F. (Basic Oxygen Furnace).

#### A.- Polvo del colector de los altos Hornos

Este polvo se obtiene durante la reducción y manejo de materiales - dentro del alto horno, el cual se separa de los gases de salida en un colector de polvos y luego en lavadoras de gases; usándolo se -- puede obtener una disminución en la calidad del sinter (por su tamaño) aunque da buenos resultados. (11 Pág. 33).

Su análisis químico promedio es:

SiO <sub>2</sub>	=	6.32
P	=	0.23
CaO	=	5.42
S	=	0.48
MgO	=	1.10
Fe	=	38.50

Y su granulometría promedio es:

<u>MALLA</u>		<u>% ACUMULADO</u>
-20	+ .8 mm.	6.5
-0.8	+ 0.6	14.4

-0.6 + 0.4	25.3
-0.4 + 0.3	44.9
-0.3 + 0.25	52.8
-0.25 + 0.20	62.5
-0.20 + 0.17	70.4
-0.17 + 0.15	78.3
-0.15	100.0

B.- Escama de lingote en laminación

Durante el proceso del lingote en la laminación y debido a la alta-temperatura que tiene, se oxida la superficie, ya sea con el aire ambiente o con el agua que se le añade en los molinos de laminación. Esta oxidación se desprende del lingote y de las planchas de acero, al pasarlos por los rodillos de los molinos, a este material se le llama escama y se recupera para usarse en sinterización. (Se muele al tamaño apropiado).

El único problema que tiene este material es su manejo en las bandas de hule de la planta ya que frecuentemente viene sucio con fierros.

Su análisis químico promedio es:

SiO <sub>2</sub>	=	1.15
S	=	0.08
P	=	0.03
CaO	=	0.10
MgO	=	Trazas
FeO	=	70.50

Se debe tratar de emplear escama de tamaño menor de 6.3 mm, para -- que no se separe en la criba de minerales la fracción más gruesa, -- antes de entrar a la planta.

#### C.- Escoria "Tipo C"

En los hornos de aceración Siemens-Martin durante el trabajo del -- acero se obtiene una escoria que se puede utilizar en sinterización por su contenido de fierro y por su contenido de fundentes. (CaO + MgO) que mejora la relación básico-ácido (10 Pág. 36). Esta escoria de aceración se muele y se separa el tipo C, que es el que se aprovecha en las plantas de sinter.

Su análisis químico promedio es:

SiO <sub>2</sub>	=	8.72
S	=	0.23
P	=	0.47
CaO	=	11.0
MgO	=	2.68
Fe	=	44.50

Al igual que la escama, se necesita que su granulometría no sea mayor de 6.3 mm.

El único posible problema en el análisis químico sería el fósforo -- si fuera muy alto (11 Pág. 36).

#### D.- Finos de Sinter de Retorno

Durante el proceso de sinterización, tanto en la planta N° 1 como -- en la N° 2 se producen cierta cantidad de finos de sinter, parte de

estos, forma parte de la recirculación interna de finos en las Plantas, y lo excedente se saca en camiones y se utiliza como recuperado en las pilas de finos.

También en el trayecto del sinter hasta los altos hornos por bandas, se producen finos en las caídas, cambios de bandas, en los cribados y al macenamiento en las tolvas de los altos hornos, y estos finos se regresan a la planta N° 2 para su consumo, aunque también una parte se manda a la planta N° 1.

Su tamaño es por lo general menor de 6.3 mm. y tiene la siguiente - granulometría:

6.3 mm	-	74	% acumulado
3.1 mm	-	25.9	
-3.1 mm	-	74.1	

El análisis químico de este sinter de retorno varía según el análisis con que se esté produciendo el sinter; en Marzo de 1975 se tiene el siguiente análisis químico promedio:

SiO <sub>2</sub>	=	6.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=	1.38
S	=	0.017
CaO + MgO	=	9.15
Fe	=	54.30
B/A	=	1.49

Además, como se dijo antes, en fecha próxima quizá se utilicen ---- otros dos materiales recuperados en AHMSA.

Estos proceden de la aceración B.O F. y son los polvos recuperados en el sistema lavador de gases y la escoria que se produce en el refinamiento del arrabio.

Se debe cuidar el análisis de zinc en los polvos del sistema de lavado, ya que al igual que el cobre del mineral Sol y Luna, causa problemas.

Todo el cobre pasa al arrabio y después a aceración, por lo que se debe controlar la concentración y el zinc del sinter permanece en el alto horno causando acumulaciones en las paredes del mismo.

### 3.- Combustible

Coque: El carbón de las diferentes minas que proveen a AHMSA se -- procesa en la coquizadora local, los finos que se producen en el proceso se mandan a las plantas sinterizadoras para ser usados como combustible.

Pero como la producción de estos finos de coque no es suficiente para el consumo de las plantas, se utiliza el coque que queda entre 10 y 20 mm. en la molienda y cribado del coque metalúrgico que se manda a los altos hornos (3 Pág. 78). Esta fracción de coque chico se muele en un molino de Barras hasta que se obtenga el tamaño necesario para sinteri-

zación que es el siguiente, tomando en cuenta una curva --- ideal. El tamaño final debe ser de 0 - 3 mm, con un mínimo en la malla - 60. (3 Pág. 78).

### Granulometría

De la gráfica ideal cuyos principales tamaños son:

MALLA #

6 - 3.3 mm.	-	17.0 % acumulado
10 - 2.0 mm.	-	33.0
30 - 0.6 mm.	-	60.0
40 - 0.4 mm.	-	65.0
50 - 0.3 mm.	-	68.0
70 - 0.2 mm.	-	74.0

(Ver Figura 4)

El análisis del coque usado en sinterización es en promedio:

Carbón fijo		75.14
Mat. volátil		3.41
Cenizas		21.45
Azufre		1.00

El análisis de las cenizas de este coque es en promedio:

SiO <sub>2</sub>	=	51.48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=	27.65
S	=	0.016
CaO	=	3.66

tamaño  
mm

CURVA IDEAL  
GRANULOMETRIA COQUE

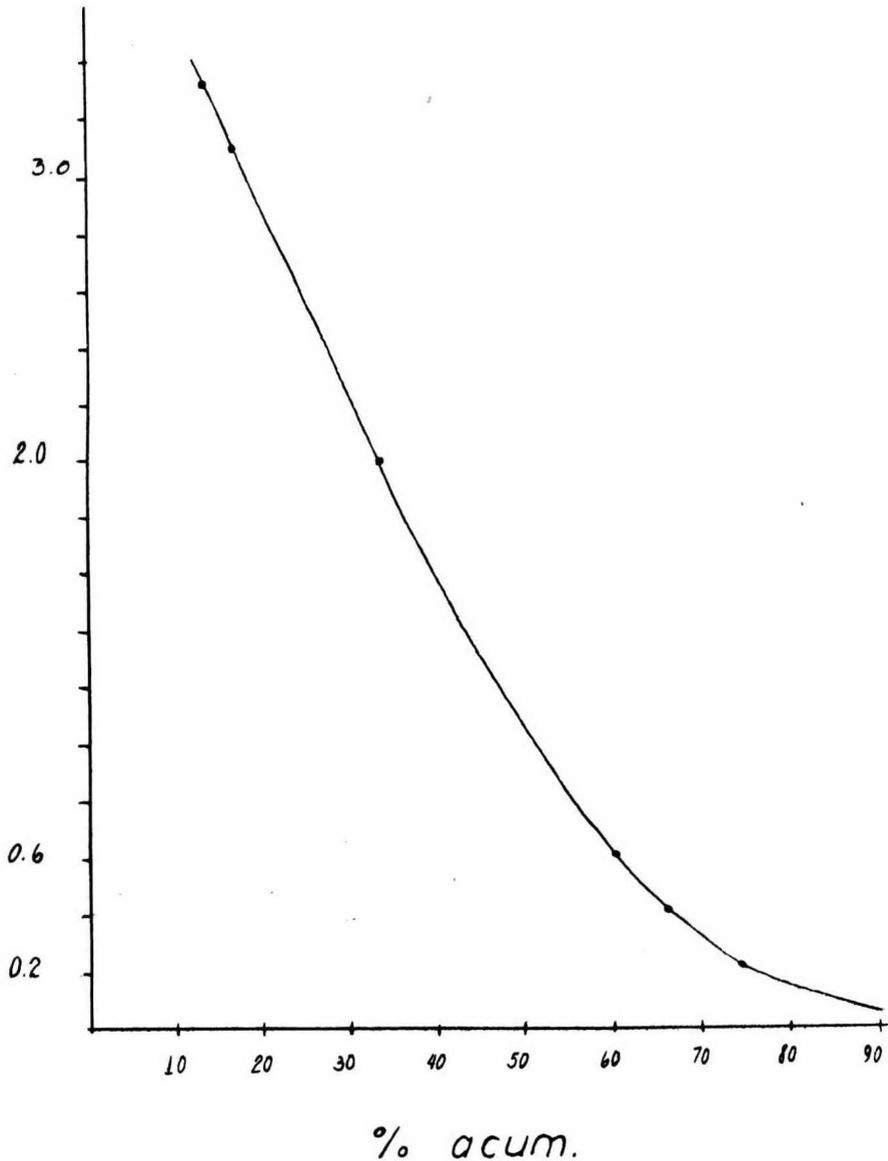


FIGURA 4

Se le pone especial atención al tamaño del coque ya que un coque fino dentro de los rangos deseados se distribuye homogéneamente en la mezcla, lo que dará como resultado una aportación igual de calor en la capa a sinterizar, si es muy fino, se quema muy rápido y no cedería el calor necesario para la fusión del material; por el contrario si es muy grueso, su mezcla no es buena, aumenta la segregación hacia la parte inferior de la capa, aumentando la concentración de coque abajo y por lo tanto, disminuyéndola en la parte superior de la capa.

Esto dará como resultado una mala combustión en la parte superior de la capa, obteniéndose sinter quebradizo y --crudo. (3 Pág. 118).

#### 4.- Fundentes

En el proceso de sinterización para ayudar a que se forme el sinter, se necesita de un material que baje el punto de fusión del fierro y además separe las impurezas del mineral por medio de la formación de una escoria. Además en la operación del alto horno también se necesita el uso de fundentes para separar las impurezas en forma de escoria, (4 Pág. 2)-razón por la que se trata de alimentar con el sinter un porcentaje fijo de fundentes al alto horno.

La escoria que se forma en el proceso de sinterización además de separar las impurezas, se une a los óxidos de fierro dándole mayor cohesión y resistencia mecánicas a las partículas aumentando así la calidad-

del sinter. (6 Pág. 1293) (1 Pág. 46).

Se desea que los fundentes tengan un contenido mínimo de sílica, -- alúmina y azufre. (3 Pág. 77).

Los fundentes usados en sinterización son: La caliza y la dolomita, prefiriéndose el uso de la caliza, ya que es más cementante que la dolomita.

La dolomita es importante también pues con el óxido de magnesio proporciona un porcentaje de éste, en la escoria del alto horno que le es necesario para obtener escorias fluídas. (3 Pág. 77) (El porcentaje necesario en la escoria de MgO actualmente es de 10% para lograr una basicidad de 1.25 - 1.30 en la escoria).

#### A.- Dolomita

Químicamente es carbonato doble de calcio y magnesio CaMg -----

(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> siendo su composición general la siguiente:

$$\text{CaO} = 30.4 \%$$

$$\text{MgO} = 21.7$$

$$\text{CO}_2 = 47.9$$

El análisis de la dolomita usada en sinterización es:

$$\text{CaO} = 36.70$$

$$\text{MgO} = 16.30$$

$$\text{SiO}_2 = 0.40-1.2$$

$$\text{R}_2\text{O}_3 = 0.50$$

$$\text{R}_2\text{O}_3 = \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$$

Debido al bajo contenido de MgO es en realidad una caliza dolomítica. Se compra en tamaño trozo grande y en el molino de dolomita se pulveriza hasta el tamaño necesario.

Su granulometría debe ser menor de 3.1 mm. teniendo un máximo - de 6% arriba de este tamaño (3 Págs. 40 y 77).

#### B.- Caliza

Químicamente es carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$  de composición:

$\text{CaO} = 56.0\%$ ;  $\text{CO}_2 = 44\%$ .

El análisis de la utilizada en sinterización es:

$\text{CaO} = 52.40$

$\text{MgO} = \text{Trazas}$

$\text{SiO}_2 = 1.20$

Si se usa una buena caliza (sobre todo si no es muy fina), se puede obtener un aumento considerable en la producción, (7 Pág. 89) y mejorar las propiedades físicas del sinter (11 Pág. 34).

La caliza se compra ya fina menor de 3.1 mm; igual que la dolomita puede tener un máximo de 6% arriba de este tamaño. (3 Págs. 40 y 77).

(El tamaño de los fundentes no debe ser mayor de 3.1 mm para facilitar su descarbonatación durante la combustión de la mezcla).

(Si aumenta la granulometría, además de que no ayuda a formar - la escoria con las impurezas, el sinter va "moteado" o sea con puntos blancos de fundentes, lo que nos falsea el análisis quí-

mico del sinter y lo hace además frágil) (Ver Cap. 11).

### Clasificación del Sinter

La siguiente clasificación del sinter se toma desde el punto de vista químico ya que es lo que cuenta más en la carga del alto horno - (claro que sin olvidarse del tamaño y resistencia).

Según el análisis químico se clasifica al sinter en ácido y básico. La "Basicidad" del sinter se obtiene a partir de la siguiente relación:

$$\text{Basicidad} = B/A = \frac{\% \text{CaO} + \% \text{MgO}}{\% \text{SiO}_2} \quad (\text{basicidad ternaria})$$

En algunos lugares se utilizan las siguientes relaciones:

$$B/A = \frac{\% \text{CaO} + \% \text{MgO}}{\% \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} \quad (\text{basicidad cuaternaria})$$

y 
$$B/A = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} \quad (\text{basicidad binaria})$$

Los porcentajes son en peso. (12 Pág. 223, 4 Pág. 1, etc.).

Sinter ácido  $B/A < 1.0$

Sinter básico  $B/A > 1.0$

Sinter auto fundente  $B/A = 1.0$

Sinter super fundente  $B/A \gg 1.0$

En AHMSA se ha trabajado con  $B/A = 2.2$

(12 Pág. 223).

Antes de 1950 se usaba sinter de basicidad menor de 0.5 pero por me-

dio de experimentaciones se demostró que se beneficiaba el alto horno tanto económicamente como en aumento de producción si se usa sinter con gran parte o todo el fundente necesario en el alto horno, - por lo que se empezó a trabajar con basicidades altas. (12 Pág. 223) (3 Pág. 136) (5 Pág. 24). En AHMSA debido quizá a que no se carga solamente sinter super fundente en los altos hornos (ya que se carga mineral y pellets B/A < 1.0), este aumento en producción y disminución en el coke rate del alto horno, no se ha podido lograr. Además en (5 Pág. 24), Bagnall apunta que él cree que, "con sinter de alta basicidad el alto horno tiene mala operación y que disminuye la producción de arrabio", pero en (4 Pág. 7) Ban apunta que, "el uso del sinter auto fundente ha aumentado la capacidad del alto horno".

O sea que la función principal de un material aglomerado (sinter) - es mejorar la producción del alto horno dándole a su carga una mayor permeabilidad, mejor contacto entre gas y sólido, evitando así las canalizaciones de gas dentro del alto horno, con esto reduce los consumos de coque y fundentes en el horno, lo que se puede aprovechar para alimentar mineral. Además se debe tratar de disminuir la cantidad de finos arrastrados por el gas hasta los colectores de polvo.

#### 4.- PREPARACION DE LAS MATERIAS PRIMAS

##### 1.- Minerales

En la planta de sinter N°2 se tiene un patio de homogenización de minerales, ya que es muy importante alimentar la planta de sinter con un material que tenga lo menor posible de variaciones, tanto físicas como químicas.

Debido a que se consumen diferentes minerales y materiales de recuperación interna, cada uno de ellos con diferente análisis químico y granulometría, se trata de lograr en el patio de homogenización de minerales que estas variaciones sean mínimas.

El patio de homogenización tiene en total lugar para 8 pilas de mineral, tres de ellas se usan actualmente para finos para sinterización, otras tres como almacenamiento de pelets para el alto horno y las otras dos para mineral trozo alto horno.

Las pilas de mineral fino tienen capacidad para 43,000 toneladas y se llenan de acuerdo a un programa por capas, de los diferentes materiales que se van a homogenizar.

El programa de las pilas consta aproximadamente de 500 capas que son otras tantas góndolas de FF.CC. Estas pilas por lo general duran de 8 a 10 días, suficiente para la capacidad de la planta. (3 Pág. 76).

Como ejemplo de un programa de formación de pilas tenemos:

Mineral fino - 62 %

Sinter de retorno	- 25 %
Escama	- 3 %
Polvo colector	- 5 %
Escoria tipo C	- 5 %

Distribuidos de la siguiente manera por góndolas:

<u>Góndola N°</u>	<u>Material</u>
1	Mineral fino
2	" "
3	" "
4	" "
5	" "
6	" "
7	" "
8	" "
9	Escama
10	Polvo colector
11	Escoria tipo C
12	Mineral fino
13	" "
14	" "
15	" "
16	" "
17	" "
18	" "
19	" "

20	Escama
21	Polvo colector

Y así sucesivamente hasta completar 43,000 tons. de la pila.

Por una compuerta se añade el sinter de retorno en proporción de -- 25% sobre los materiales descargados (menos sobre la escama porque viene sucia). Cada góndola tiene 60 tons. aproximadamente y con esta base se hace el cálculo del programa de llenado de pilas.

#### Descripción de la Homogenización

Las góndolas con mineral fino se descargan por medio de un volteador de carros en un par de tolvas, junto a estas tolvas se encuentran otras dos, que sirven: una para los recuperados y la otra para el sinter de retorno que entrará a formar la pila.

De estas tolvas pasan a una serie de bandas transportadoras, hasta un apilador que está en el sitio donde se formará la pila.

Este apilador descarga el mineral a lo largo de la pila y al centro de la misma, con lo que se empieza a homogenizar el material, en una sección cónica.

Una vez formada la pila, se despunta el extremo sur de la misma por haberse encontrado que los extremos no guardan buena homogenización, con ésto se evitan problemas de permeabilidad y diferencias de análisis en el sinter, (3 Pág. 76) esta operación se hace con cada pila.

El mineral homogenizado se alimenta a la planta por medio de un re-

cogedor rotatorio de cangilones que recorre la pila a lo ancho, al mismo tiempo que avanza a lo largo.

Este recogedor tiene un rascador que ayuda a desprender mineral de la parte media y superior de la pila logrando con esto, una mejor homogeneización.

De aquí se manda el mineral homogenizado a la planta N° 2 por medio de bandas.

## 2.- Coque

El coque AHMSA fino que se obtuvo en la coquizadora y el de 10-20 mm. (3 Pág. 78) en el cribado del coque siderúrgico se manda a un patio donde se rampea con tractores y se deja secar.

Una vez seco (  $\pm$  10% humedad) se carga con camiones a la tolva de alimentación del molino de barras, que lo molerá al tamaño necesario para mandarlo a la planta por una serie de bandas. (3 Pág. 78).

## 3.- Fundentes

-A- Dolomita.- Como se compra en trozos grandes, se muele primero en un molino de quijadas y después se pasa a un pulverizador de martillos para obtener su granulometría correcta y mandarlo a su tolva de almacenamiento y después a la planta.

-B- Caliza.- Se compra por lo general fina y se descarga con camiones en su tolva de almacenamiento. Cuando se compra en trozo se trata de la misma manera que la dolomita.

## 5.- DESCRIPCION DE LA PLANTA DE SINTER N° 2

La planta de Sinter N° 2 se puede dividir en tres partes principales que son:

- 1.- Proceso de las materias primas.
- 2.- Producción de sinter.
- 3.- Proceso del producto terminado. (12 Pág. 228).

1.- Proceso de las Materias Primas

Se habló ya anteriormente del proceso de homogenización en el patio de minerales y para qué servía este movimiento de material. Ahora se explicará el proceso de preparación de la mezcla de minerales -- con el coque y los fundentes.

15  
 \* Por medio de una serie de bandas (fig. 5) se maneja el mineral homogenizado hasta tres tolvas dosificadoras en la planta, (ABC) también se maneja así la dolomita (D) y la caliza (E) desde las tolvas de almacenamiento (1).

El coque fino que sale del molino de barras (2) tiene una secuencia de bandas particular hasta su tolva dosificadora (F).

Se tienen tres tolvas dosificadoras para mineral, una para dolomita, una de caliza y una de coque, con capacidad de  $250 \text{ m}^3$  cada una (4).  
 (9. Pág. 47).

Por la parte inferior de las tolvas, unos extractores dosimétricos depositan al mineral, caliza, dolomita y coque, sobre una banda co-

lectora que descarga al mezclador primario, (5) aquí mismo, por medio de una banda de cangilones descarga también los finos de circulación interna producidos durante el proceso y almacenados en la tolva de finos de retorno (6).

En el mezclador primario la mezcla es impulsada por medio de una flecha con paletas, (las paletas, además de mezclar bien la carga, sirven para impulsarla afuera del tambor mezclador) (3 Pág. 149) y además se le añade agua para lograr lo siguiente:

- a) Evitar pérdidas de material seco.
- b) Mezclar bien los materiales y empezar la micropeletización.
- c) Enfriar finos de retorno.
- d) Una humedad suficiente para obtener buena permeabilidad en la sinterización. (7 Pág. 88).

Del mezclador primario, por medio de un circuito de bandas, se manda el material al mezclador secundario (11) que gira entre 6 y 8 vueltas por minuto y tiene una inclinación de  $4^{\circ}$ , esto es necesario para que por medio de una adición de agua controlada se complete la micropeletización y el contenido óptimo de humedad de la mezcla (3 Págs. 125 y 152).

Esta mezcla ya preparada sale del mezclador secundario a una banda oscilante que descarga en una tolva de carga donde en la parte inferior se tiene el rodillo de alimentación de la cadena continua de sinterización. (3 Pág. 153).

## 2.- Producción de Sinter

Cadena Continua de Sinterización.

Antes de que caiga la mezcla preparada por el rodillo alimentador, se prepara a la cadena con una capa de protección de sinter terminado que viene de cribado en frío (20), su granulometría es de 6.3 mm hasta 19 mm. que se llama sinter colchón, se almacena en la tolva de colchón. (12).

Este sinter colchón tiene como finalidad lo siguiente:

- 1°) Evita que entre las parrillas que forman la cadena se pase material fino de la mezcla (1 Pág. 49).
- 2°) Evita que la zona de fusión con su alta temperatura llegue directamente a las parrillas, quemándolas o torciéndolas, por lo que causaría serios problemas en la operación.

La altura de esta capa puede ser desde 2.5 cm hasta 5.0 cm.

Sobre esta capa de protección se va a depositar la mezcla preparada a través del rodillo alimentador, la altura máxima con que se puede trabajar son 45 cm.

Conviene hacer notar que la velocidad de la cadena de sinterización se afecta de manera inversa a la altura de capa, si se mantiene --- constante la carga por hora de material. Por ejemplo, si aumenta la capa, disminuye velocidad de la cadena y viceversa.

Por otro lado, si mantenemos constante la altura de capa y variamos la carga, la velocidad de la cadena se afecta de manera directa. -- Por ejemplo, si disminuye la carga por hora, la velocidad de la cadena disminuye y viceversa.

El encendido de la parte superior de esta capa se realiza con una campana de gas de coque (13) que tiene en total 30 quemadores distribuidos en seis líneas. Esta campana está diseñada para quemar gas de coque con un poder calorífico entre 4000 y 4500 Cal/m<sup>3</sup>, el aire necesario para la combustión es proporcionado por un abanico de succión de 8000 m<sup>3</sup>/hr, de capacidad. La longitud de la campana es de 4.5 m.

El tiempo de encendido, o sea el tiempo que permanece la flama en contacto con la mezcla, es muy importante, ya que se debe dar tiempo para que se seque la parte superior, luego que se precaliente y al final se logren las reacciones de aglomeración y sinterización.

Con las condiciones actuales se tiene un tiempo de permanencia de dos minutos aproximadamente en la campana, lo que permite un buen inicio para la sinterización.

La cadena de sinterización (14) tiene una superficie útil de 142 m<sup>2</sup>, una longitud de 46 m y anchura de 3.0 m, tiene 119 carros individuales (9 Pág. 49). Las parrillas de la cadena son de "Fierro Nodular" con el siguiente análisis químico promedio:

C = 3.75      Si = 0.65      S = 0.009      Mn = 0.55

El carbón en este material está en forma de nódulos para darle mayor resistencia a la abrasión. El número de parrillas es de 24,750 aproximadamente, por lo cual se debe de tener cuidado en su mantenimiento.

### Sistema de Succión

Al área útil de la cadena se conectan 19 cajas de succión que se unen a un ducto principal (16) que tienen en la parte inferior una serie de tolvas pequeñas en donde se depositan los finos que se lograron pasar a través de las parrillas, estas tolvas descargan en una banda que lleva a los finos hasta la tolva de finos de retorno (6).

El ducto principal está conectado a una serie de ciclones (17) que limpian los gases de combustión de polvos y así evitan que lleguen hasta el abanico principal y lo erosionen demasiado. Este abanico principal (18) es el que proporciona la succión necesaria para hacer avanzar la zona de fusión a través de la capa de materiales -- por sinterizar.

Es un abanico centrífugo de  $750,000 \text{ m}^3/\text{hr}$  de capacidad a 707 mm Hg- y  $150^\circ \text{ C.}$ , la variación del gasto se asegura por unas compuertas accionadas desde la cabina de control (15).

El exceso de aire y los gases de combustión, limpios, se mandan a la atmósfera a través de una chimenea.

Una vez terminada la sinterización en el extremo final de la cadena, ésta se regresa y por lo tanto la capa sinterizada cae a una cámara de descarga.

### 3.- Proceso del Producto Terminado

En la cámara de descarga, (8) se encuentra un quebrador de sinter, es una flecha con dientes distribuidos para lograr tamaños de sinter hasta de 12" que pasan a través de una criba grizzly, con este tamaño máximo se facilita el enfriamiento del sinter.

De este lugar pasa el sinter a dos cribas vibratorias llamado cribado en caliente (9) donde los finos calientes menores de 6.1 mm se separan y se mandan a la tolva de finos de retorno (6).

El sinter mayor de 6.1 mm llega al enfriador circular (10) que tiene una superficie útil de  $174 \text{ m}^2$ , el sinter se enfría por medio de aire que es soplado de abajo hacia arriba por cuatro ventiladores.

El sinter ya frío, pasa a dos cribas, (19-20) llamado cribado en frío en donde se va a separar el sinter de acuerdo a tamaños establecidos.

En la primera criba se separa el sinter mayor de 25 mm que va a la tolva de producto terminado y de ahí pasará a los altos hornos, lo menor de 25 mm pasa a la siguiente criba donde se va a separar el sinter en tres tamaños, lo que queda entre 25 mm + 19 mm, sale como sinter terminado a la tolva de almacenamiento; lo que queda entre --

+ 6.3 mm - 19 mm, que es el sinter colchón y se manda a la tolva en el piso de la cadena de sinterización, teniéndose en cuenta que --- cuando esta tolva esté llena, esta fracción descarga a la tolva de almacenamiento de sinter terminado.

Y por último, el sinter menor de 6.3 mm que sale como finos fríos a la tolva de finos de retorno para ser recirculados en el proceso. - Por lo tanto, el tamaño aprovechable del sinter para los altos hornos es desde 6.3 mm.

Ya en los altos hornos, este sinter +6.3 mm, se criba de nuevo y se separan tres fracciones: a) -6.3 mm se regresa al patio de homogenización de minerales; b) + 6.3 mm - 9.5 mm., se separa como sinter chico y c) + 9.5 mm es el sinter normal.

La planta tiene un sistema de despolvadores en los lugares de cribado (21) y reducción de tamaño (7). El polvo lo mandan a la tolva de finos de retorno.

#### Cabina de Controles

La Planta de Sinter N° 2 es automática en su operación y los equipos se controlan desde una cabina central (15) que se encuentra en el piso de la cadena continua para checar de una manera directa la sinterización.

Se tiene un tablero con los instrumentos registradores y controlados de las principales variables del proceso. Como variables princi

- 1-Tolvas de dolomita, caliza y coque
- 2-Molino de barras para coque
- 3-Cribado
- 4-Tolvas de materias primas
- 5-Mezclador primario
- 6-Tolva finos de retorno
- 7-Despolvador primario
- 8-Quebrador de sinter
- 9-Cribado en caliente
- 10-Enfriador circular
- 11-Mezclador secundario
- 12-Tolva sinter colchón
- 13-Alimentación y camp.da encendido
- 14-Cadena de sinterización
- 15-Cuarto de controles
- 16-Ductos de succión
- 17-Colectores de polvo
- 18-Abanico principal
- 19-Cribado en frío(mayor de 25 mm)
- 20-Cribado en frío(0-6, 6-19, 19-25 mm)
- 21-Despolvador secundario
- 22-Sinter al alto horno.

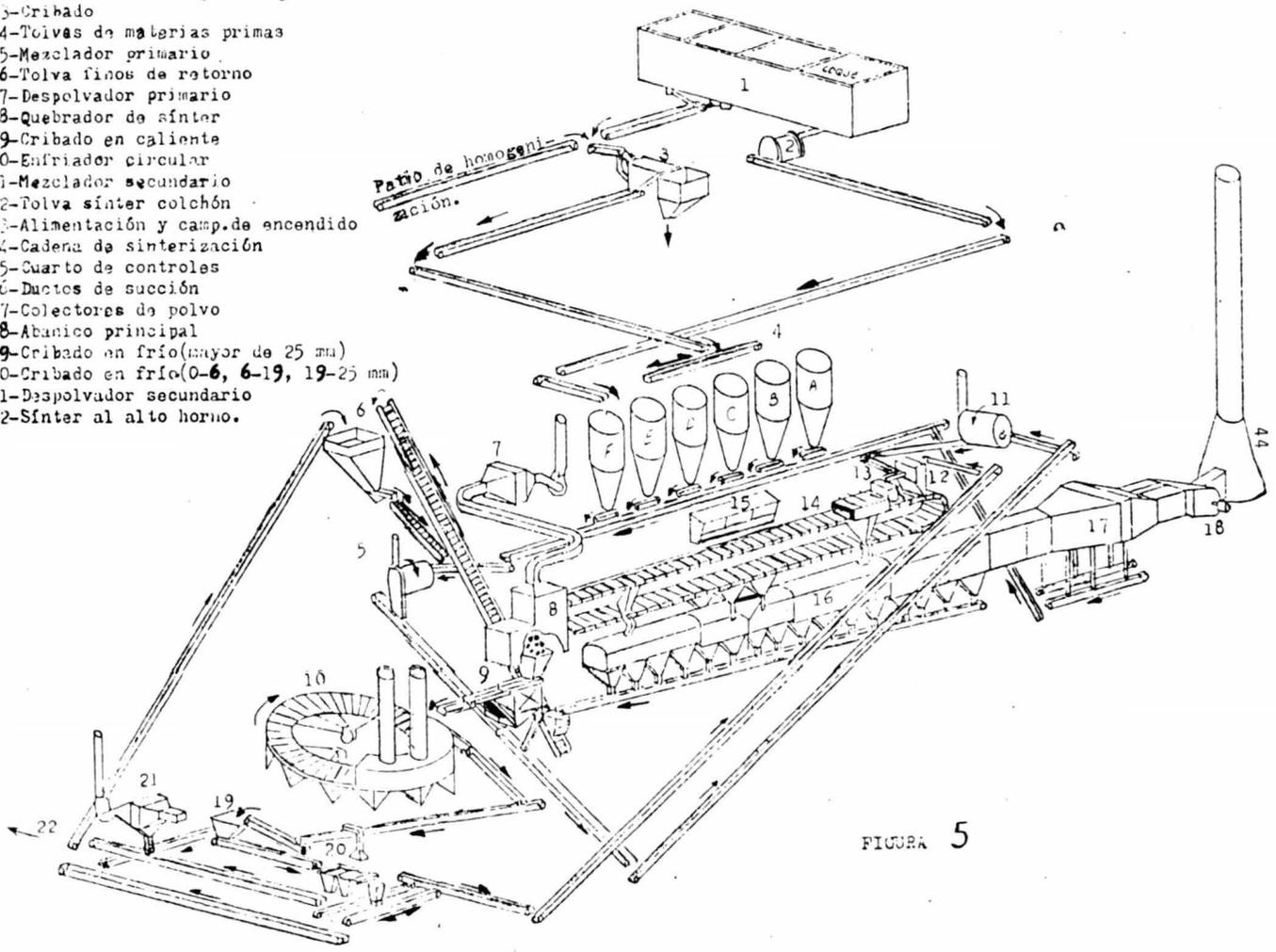


FIGURA 5

pales tenemos las siguientes:

- Alimentación de mineral homogenizado, caliza, dolomita y coque.
- Alimentación de agua a los mezcladores primario y secundario.
- Alimentación de finos de retorno.
- Nivel de la tolva de sinter colchón.
- Velocidad de la cadena de sinterización.
- Temperaturas y succiones de las 19 cajas de viento de la cadena de sinterización.
- Velocidad del enfriador circular.

Además se tienen los controles de bombas de agua de enfriamiento, abanicos de enfriamiento en el enfriador circular, abanicos despolvadores en la descarga de la cadena de sinterización y en cribado en frío, el control del abanico principal y de los motores de bandas y mezcladores.

La planta está dividida en cuatro secuencias de operación, las cuales se arrancan o paran en el siguiente orden:

En arranque: conectan primero las secuencias 1 y 2, luego continúa la 3 y al final la 4. En paros: Si para la secuencia 1, paran las 2, 3 y 4; si para la 2, paran la 3 y 4 únicamente; si es la 3, sólo para la 4 y si es la 4, para la N° 3 y continúan trabajando las 1 y 2.

Cada secuencia abarca los siguientes equipos:

## Secuencia N° 1:

Banda de finos del ducto principal de succión y transportador de cangilones a la tolva de finos de retorno.

## Secuencia N° 2:

Quebrador de sinter, cribas en caliente, enfriador circular, bandas a cribado en frío, cribas en frío, bandas de sinter terminado, ban-das de finos de retorno frío y bandas de sinter colchón.

## Secuencia N° 3:

Rodillo alimentador, abanico de aire de combustión, gas de combus---tión, campana de encendido y la cadena de sinterización.

## Secuencia N° 4:

Bandas de alimentación de materias primas, alimentador de finos de - retorno al proceso, mezcladores primario y secundario, banda oscilante de alimentación a la tolva de descarga de la cadena y bandas co--lectoras de polvo de los ciclones del ducto principal.

El abanico principal no queda en ninguna secuencia y se controla --- aparte desde la cabina.

Además se cuenta con un tablero de fallas tanto mecánicas como eléc- tricas y se identifica de inmediato el lugar de la falla, desde la - cabina se comunica a Mantenimiento la falla para que manden personal a repararla.

## 6.- CALCULO DE LA MEZCLA DEL SINTER

Este cálculo de componentes en la mezcla se hace tomando en cuenta a la producción y calidad de sinter deseada. Debe comprender los siguientes puntos: (3 Pág. 85).

- a) Carga total.
- b) Porcentaje de finos de coque.
- c) Porcentaje de finos de retorno.
- d) Porcentaje de caliza y dolomita, tomando en cuenta la basicidad del sinter.

Además de otros datos que se necesitan conservar fijos para no variar las condiciones de proceso que son:

- 1) Humedad de la mezcla.
- 2) Altura de la capa del sinter colchón.
- 3) Altura de la capa de mezcla total.

a).- Carga Total

Se ha notado que la planta tiene problemas de operación y mantenimiento de equipo con cargas superiores a 330 ton/hr de mezcla total. Actualmente se está usando 280 ton/hr logrando con esto una producción bruta de 4500 ton/día aproximadamente.

b).- Porcentaje de Coque

Este porcentaje de coque es con respecto a la carga total, y se toma

como principal razón de la calidad del sinter a producir, además -- tiene relación con la proporción de finos de retorno a recircular y con una mejoría en las propiedades físicas. (11 Pág. 33).

Se ha notado que la producción de sinter aumenta cuando se incrementa el porcentaje de finos de retorno, pero alcanza un máximo, después del cual la producción disminuye.

Además se sabe que con más finos de retorno en la mezcla, la cantidad de coque disminuye, pues éstos necesitan de menor cantidad de calor para fundirse que el mineral original. Por lo tanto:

$$\% \text{ Coque} = \frac{\text{Ton. de Coque}}{\text{Ton. Mezcla Total}} \times 100$$

Además la cantidad de coque usado también está en función del análisis de FeO del sinter que en esta Planta se desea de 11-13%, o sea, es una medida de la reducción de la hematita  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a magnetita  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . (11 Pág. 33).

#### c).- Porcentaje de Finos de Retorno

Como se mencionó anteriormente, tiene influencia en la producción de sinter hasta un límite máximo, y se trata de alimentar a la mezcla cuando menos la misma cantidad de finos producidos en el proceso y obtener así un balance. Además ayudan a aumentar la permeabilidad de la mezcla, ya que tienen una granulometría más o menos constante, menor de 6.3 mm.

Proporcionan así mismo, una superficie de adherencia al mineral fino de la mezcla para lograr una micropelletización mejor. Por lo tanto:

$$\% \text{ Finos de retorno} = \frac{\text{Ton. finos de retorno}}{\text{Ton. Mineral}} \times 100$$

d).- Porcentaje de Caliza y Dolomita

Además de que los fundentes proporcionan un aglutinante para la formación de sinter de alta resistencia, nos sirven para darle al sinter una característica química muy importante como materia prima para los altos hornos, una basicidad constante.

Generalmente el rango de basicidad deseada en los altos hornos tiene 10 puntos de tolerancia o sea por ejemplo, se pide basicidad de 1.50, en la planta de sinter se tratará de mandar sinter entre 1.45 y 1.55.

La cantidad de fundentes está supeditada al análisis químico del mineral homogenizado y de las cenizas del coque usado.

El total de fundentes necesarios, se distribuye entre la caliza y la dolomita, fijando de antemano uno de los dos en la mezcla. Actualmente se está usando únicamente dolomita como fundente.

Ejemplo de cálculo de fundentes para basicidad del sinter de 1.50:

El porcentaje de fundentes es respecto al mineral total (3 Pág.85).

Carga 280 ton/hr.

<u>Material</u>	<u>Tons.</u>	<u>SiO<sub>2</sub></u>		<u>CaO + MgO</u>	
		<u>%</u>	<u>Tons.</u>	<u>%</u>	<u>Tons.</u>
Coque	14.5	8.25	1.19	0.58	0.08
Mineral	170.0	5.30	9.01	4.73	8.04
Sinter retorno	72.0	6.35	<u>4.57</u>	9.26	<u>6.66</u>
			14.77		14.78
Dolomita	X	1.06	.0106 x 52.22		.5222 X

$$B/A = 1.50 = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2}$$

$$1.50 = \frac{14.78 + .5222 X}{14.77 + .0106 X}$$

$$X = 14.5 \text{ Ton/hr. Dolomita}$$

$$\% \text{ Fundentes} = \frac{\text{Ton. Fundentes}}{\text{Ton. Mineral}} \times 100$$

$$\% = \frac{14.5 \times 100}{170} = 8.5 \% \text{ Dolomita}$$

Los siguientes datos tienen que fijarse de acuerdo con las condiciones de operación de la cadena de sinterización.

#### 1).- Humedad de la Mezcla

Influye en la permeabilidad de la capa de mezcla y por lo tanto en la transferencia de calor de la zona de fusión. Se trabaja actual-

mente con aproximadamente 10% de humedad.

2).- Altura de la Capa de Colchón

También influye en la permeabilidad de la mezcla al dejar espacios libres entre las parrillas y la mezcla, además que se fija como -- protección para las parrillas de la cadena de sinterización. (1 -- Pág. 49).

Su altura varía de 2.5 cm. a 5.0 cm.

3).- Altura de la Capa de la Mezcla Total

Tiene influencia también en la permeabilidad de la carga y en la - transferencia de calor de la zona de fusión. La máxima altura es - de 45 cm., trabajando actualmente en 42 cm.

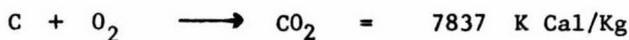
Estos puntos se explicarán con más detalle en el control de cali-- dad del sinter.

7.- CAMBIOS QUIMICOS Y FISICOS TENIDOS EN EL PROCESO  
DE SINTERIZACION

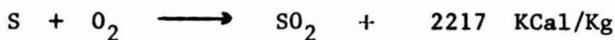
Antes de pasar al balance de masa de la sinterización, se explicará algo relacionado con los cambios sufridos en el proceso y del análisis químico del sinter.

1.- Cambios Químicos

a) Se oxida el carbono del coque a monóxido y bióxido de carbono:



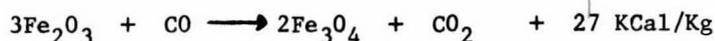
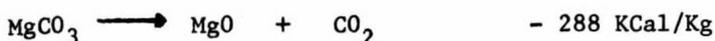
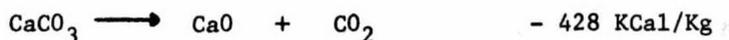
b) El azufre del coque se oxida:



c) El azufre del mineral en forma de  $CaSO_4$ , se disocia a los  $960^\circ C$  ayudado por el  $SiO_2$ :



d) Se descompone la dolomita y los carbonatos del mineral, empezando la reducción de la hematita en la zona de reducción y continúa hasta la zona de fusión:



- e) Se combinan para formar una escoria semilíquida la ganga del miral con la dolomita, la caliza y una parte de la hematita.

El tipo de escoria más común y que se podría formar en la sinterización de nuestros minerales, es una derivación de la ferrita de calcio y magnesio cuya composición general es:

$X \text{ Fe}_2\text{O}_3 \cdot Y \text{ SiO}_2 \cdot Z \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 5 (\text{CaO} \cdot \text{MgO})$ , donde  $X + Y + Z = 12$ .  
siendo quizá la más probable por el bajo contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -- del mineral y materias primas, la siguiente:

$9 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{ SiO}_2 \cdot 0.5 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 5 (\text{CaO} \cdot \text{MgO})$  (6 Pág. 1292).

A estos compuestos se les conoce como SFCA, (silico ferrita de calcio y alúmina) que son ricas en fierro.

(En el trabajo de Coheur (6) pone la SFCA como cálcila, pero tomando en cuenta que se usa dolomita se puede suponer que tam---bién intervenga el Magnesio). Otra fase que también se puede encontrar es pobre en fierro. Es un alúmino silicato del tipo Fe-gehlenita, su fórmula estequiométrica es:  $\text{Ca}_2\text{Fe}^{3+} (\text{AlSi})\text{O}_7$ , y se le conoce como GH. (6 Pág. 1292) (Ver figura 6).

Si en sinterización se usa solamente caliza como fundente, se obtiene una formación de ferrita cálcila, desapareciendo la fayalita ( $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ), aumentando la reducibilidad (10, Cap. Fundamental Studies of Self Fluxing Sinter, S. Watanabe, Pág. 7).

## 2.- Cambios Físicos

Los principales cambios físicos que tiene la sinterización son:

- a) Las partículas finas del mineral homogenizado se funden formando un aglomerado. (Ver zonas de sinterización y Figs. 1 y la).
- b) Se logra una estructura de muy altas macro y micro porosidad -- que aumenta considerablemente el área de contacto con los gases reductores del alto horno.
- c) Con la formación de la escoria se le dá una resistencia elevada al sinter. (6 Pág. 1293). (La dureza del sinter se atribuye a -- una unión de naturaleza cerámica y al fenómeno llamado "Crecimiento de grano". (4 Pág. 2).

### Análisis químico del Sinter

El sinter varía de análisis químico, dependiendo de la composición de la pila que se esté usando, así como también de la basicidad solicitada por los altos hornos. Tomando como base los análisis químicos de una pila consumida durante el mes de Febrero 1975, que son:

Mineral Homogenizado	
Fe	57.00 %
SiO <sub>2</sub>	5.62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.82
CaO+MgO	4.37
S	0.12
B/A	0.84

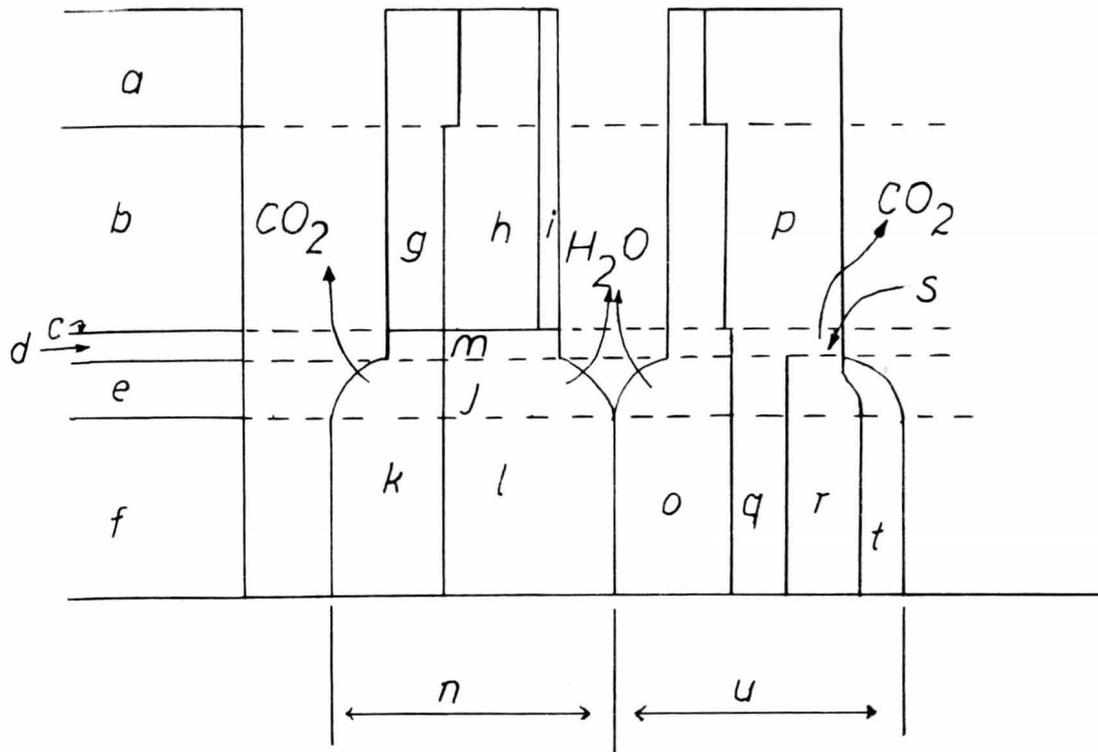


FIGURA 6  
 explicación en pág. siguiente  
 (3 pág.142)

## EXPLICACION FIGURA 6

- a - Zona de sinter frágil.
- b - Zona de sinter duro
- c - Zona de fusión.
- d - Zona de calcinación.
- e - Zona seca.
- f - Zona húmeda.
- g - Hematita.
- h - Magnetita.
- i - Wüstita.
- j - Oxidos de fierro.
- k - Siderita.
- l - Geotita.
- m - Oxidos de fierro.
- n - Minerales de fierro.
- o - Arcilla.
- p - Vidrio y otros silicatos (Wollastonita, anortita, etc.)
- q - Cuarzo.
- r - Calcita.
- s - Aluminio silicatos +  $\text{SiO}_2$  +  $\text{CaO}$  +  $\text{MgO}$ .
- t - Magnesita.
- u - Minerales escoriificantes.

B/A            0.84

Los análisis químicos promedio del sinter producido durante el consumo de esta pila, son:

Sinter	
Fe	54.30 %
SiO <sub>2</sub>	6.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.38
CaO + MgO	9.15
S	0.017
B/A	1.49

Como se observa, se eleva la basicidad desde 0.84 a 1.49 con la adición de la dolomita, disminuye el contenido de fierro y aumentan el ---- SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO + MgO. Asimismo, se nota una desulfuración promedio del 86% del total de azufre en la pila. (3 Pág. 116).

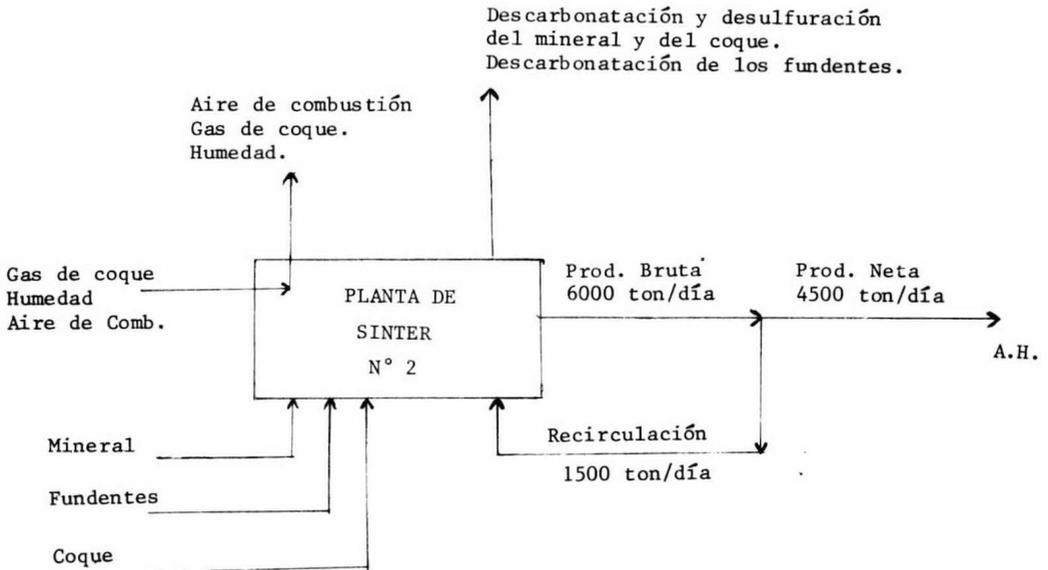
(En experimentación en otras plantas se ha logrado desulfurar más - de 90%, y en otras el porcentaje es de 50-80, generalmente en AHMSA se - desulfura entre 75 y 85%, sin usar ningún método especial, como: aire -- precalentado, exceso de coque en la parte superior).

## 8.- BALANCE DE MATERIALES

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se desea producir 4500 tons/día netas de sinter con basicidad de -- 1.5 para su consumo en los altos hornos.

¿Cuántas toneladas de mineral, fundentes y coque se necesitan diariamente?



Suponemos que: los finos de recirculación de sinter tienen el mismo análisis que el sinter producido. El porcentaje del coque a usar es de - 5% de la carga total. Eficiencia del proceso 89.0%. Todo el azufre del - coque se elimina y un 86% del azufre del mineral. La hematita del mine--

ral se reduce parcialmente hasta tener un 10.88% de magnetita.

Si se necesitan 4500 ton/día netas de sinter en el alto horno y se tiene 25% de degradación durante la producción y clasificación del sinter, se necesita:

$$4500/.75 = 6000 \text{ ton/día brutas de sinter.}$$

Se tiene una recirculación de 1500 ton/día = 62.5 ton/hr de sinterfino en la planta.

La eficiencia del proceso es de 89.0% o sea que se deben alimentar a la planta  $6000/.89 = 6740.0$  ton/día de materias primas.

$$6740.0 \text{ ton/día} = 280.80 \text{ ton/hr. M.P.}$$

Se usa el 5% de coque de esta carga total:

$$280.8 \times .05 = 14.00 \text{ ton/hr.}$$

$280 - 14.00 = 266.80$  ton/hr. de mineral + fundentes + finos de retorno.

$$266.80 - 62.5 = 204.30 \text{ ton/hr. de mineral + fundentes.}$$

Para obtener estos datos de mineral y fundentes se hacen varias "opciones" para producir sinter con basicidad de 1.50 con los siguientes -- análisis químicos de la materia prima:

	Mineral	Fundentes	Coque
% SiO <sub>2</sub>	5.30	1.06	8.25
% CaO+MgO	4.73	52.22	0.58

## OPCION 1

Fundentes: 10% = 20.43 ton/hr.

Material	Tons.	SiO <sub>2</sub>		CaO+MgO	
		%	Tons.	%	Tons.
Coque	14.00	8.25	1.15	0.58	0.08
Mineral	183.87	5.30	9.74	4.73	9.69
Fundentes	20.43	1.06	0.21	52.22	10.66
Total			<u>11.10</u>		<u>19.43</u>

$$B/A = \frac{19.43}{11.10} = 1.75$$

Se tienen 25 puntos por arriba del rango por lo tanto se necesitan menos fundentes.

## OPCION 2

Fundentes: 5% = 10.20 ton/hr.

Material	Tons.	SiO <sub>2</sub>		CaO+MgO	
		%	Tons.	%	Tons.
Coque	14.00	8.25	1.15	0.58	0.08
Mineral	194.10	5.30	10.28	4.73	9.18
Fundentes	10.20	1.06	0.10	52.22	5.32
Total			<u>11.53</u>		<u>14.58</u>

$$B/A = \frac{14.58}{11.53} = 1.26$$

Se tienen 24 puntos por abajo del rango o sea que el porcentaje de fundentes es entre 5 y 10%.

## OPCION 3

Fundentes: 7.5% = 15.30 Ton/hr.

Material	Tons.	SiO <sub>2</sub>		CaO+MgO	
		%	Tons.	%	Tons.
Coque	14.00	8.25	1.15	0.58	0.08
Mineral	189.00	5.30	10.01	4.73	8.94
Fundentes	15.30	1.06	0.16	52.22	7.99
Total			<u>11.32</u>		<u>17.01</u>

$$B/A = \frac{17.01}{11.32} = 1.50$$

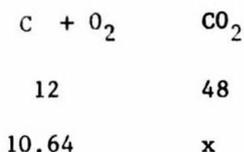
Tomando la OPCION 3 se necesitan:

	Ton/hr.	Ton/día
Mineral	189.00	4536.00
Fundentes	15.30	367.00
Coque	14.00	336.00
y retorno	<u>62.50</u>	<u>1500.00</u>
Totales	280.80	6740.00

Son 6740.00 ton/día de materia prima para producir 6000 ton/día brutas de sinter que con la degradación se obtienen 4500 ton/día netas para el alto horno con basicidad de 1.50.

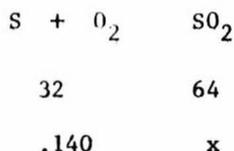
1.- Coque 14.00 ton/hr.

a)  $14.00 \times 0.76 = 10.64$  ton/hr. de carbón que se eliminan en los gases de combustión.



$$x = \frac{10.64 \times 48}{12} = 42.56 \text{ ton/hr. de CO}_2$$

b)  $14.00 \times 0.01 = .140 \text{ ton/hr. de Azufre que se eliminan en los gases de combustión.}$



$$x = \frac{.140 \times 64}{32} = 0.280 \text{ ton/hr. de SO}_2$$

c) Cenizas:  $18\% : 14.00 \times 0.18 = 2.52 \text{ ton/hr.}$

d) Material Volátil:  $5\% : 14.00 \times 0.05 = 0.70 \text{ ton/hr.}$   
(H<sub>2</sub>O, hidrocarburos)

En el sinter (C) cenizas = 2.52 ton/hr-

En los gases de combustión:  $10.64 + 0.140 + 0.70 = 11.48 \text{ ton/hr.}$

2.- Fundentes: 15.30 ton/hr.

a) % ton/hr.

$$\text{SiO}_2 = 1.06 = 0.16$$

$$\text{CaO+MgO} = 52.22 = 7.99$$

$$\text{R}_2\text{O}_3 = 0.50 = 0.08$$

b)  $\text{CO}_2 = \frac{46.22}{100.00} = \frac{7.07}{15.30}$

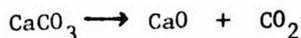
En el sinter :  $0.16 + 7.99 + 0.08 = 8.23$  ton/hr.

En los gases de combustión = 7.07 ton/hr.

c) La dolomita tiene:  $\text{CaCO}_3 = 63.92 \%$

$\text{MgCO}_3 = 34.72 \%$

$15.30 \times .6392 = 9.78$  ton/hr.  $\text{CaCO}_3$

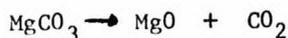


100            44

9.78            x

$$x = \frac{9.78 \times 44}{100} = 4.30 \text{ ton/hr. de CO}_2$$

$15.30 \times .3472 = 5.31$  ton/hr.  $\text{MgCO}_3$



84            44

5.31            x

$$x = \frac{5.31 \times 44}{84} = 2.78 \text{ ton/hr. de CO}_2$$

Total =  $4.30 + 2.78 = 7.08$  ton/hr. de  $\text{CO}_2$

3.- Mineral            189.00 ton/hr.

	%	ton/hr.
a) $\text{SiO}_2$	5.30	10.02
$\text{CaCO}_3$	8.85	16.73
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0.82	1.55
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	80.93	152.96
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	2.05	3.87
$\text{CaSO}_4$	0.55	1.04
otros óxidos	<u>1.50</u>	<u>2.83</u>
	100.00	189.00

b) Se tiene 0.55% de  $\text{CaSO}_4 = 1.04 \text{ ton/hr.}$

y de azufre:

$$S = \frac{32}{136} \times .0055 \times 189.00 = 0.24 \text{ ton/hr. de S.}$$

Se desulfura el 86%

$$0.24 \times 0.86 = 0.20 \text{ ton/hr.}$$



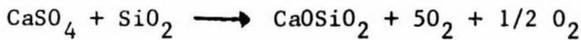
$$32 \qquad \qquad 64$$

$$.20 \qquad \qquad x$$

$$x = \frac{.20 \times 64}{32} = .40 \text{ ton/hr. de } SO_2 \text{ en los gases}$$

y en el mineral queda 0.04 ton/hr. de S.

se desprende Oxígeno de la reacción



$$136 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad 16$$

$$1.04 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad x$$

$$\frac{1.04 \times 16}{136} = 0.12 \text{ ton/hr.}$$

$$1.04 - 0.56 = 0.48 \text{ ton/hr. de } \text{CaOSiO}_2$$

c) Se tiene 8.85% de  $\text{CaCO}_3$

$$189.00 \times 0.0885 = 16.72 \text{ ton/hr. de } \text{CaCO}_3$$



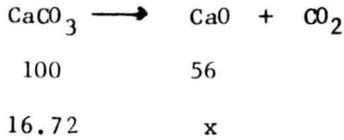
$$100 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad 44$$

$$16.72 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad x$$

$$x = \frac{16.72 \times 44}{100} = 7.35 \text{ ton/hr. de } \text{CO}_2$$

descarbonatación del mineral

se tiene 16.72 ton/hr. de  $\text{CaCO}_3$



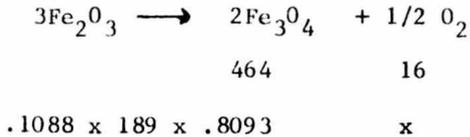
$$x = \frac{16.72 \times 56}{100} = 9.36 \text{ ton/hr. de CaO}$$

que equivalen a un 56% del  $\text{CaCO}_3$

d) El  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  se reduce hasta tener 10.88% de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

$$\begin{array}{r} \text{Fe}_2\text{O}_3 = 152.96 \text{ ton/hr.} \\ 16.64 \text{ ton/hr. Fe}_3\text{O}_4 \\ 136.32 \text{ ton/hr. Fe}_2\text{O}_3 + \text{O}_2 \end{array}$$

para el  $\text{O}_2$  desprendido en la reducción:



$$x = \frac{16.64 \times 16}{464} = 0.57 \text{ ton/hr. O}_2$$

entonces  $136.32 - .57 = 135.75 \text{ ton/hr. Fe}_2\text{O}_3$

En el sinter = 180.55 ton/hr. en los gases = 8.45 ton/hr.

Resultados:

	Sinter	Gases
1.- Coque	2.52	11.48
2.- Fundentes	8.23	7.07
3.- Mineral	180.55	8.45
4.- Retorno	<u>62.5</u>	<u>          </u>
	253.8 ton/hr.	27 ton/hr.

$$253.8 + 27 = 280.8 \text{ ton/hr.}$$

$$253.8 \times 24 = 6091 \text{ ton/día sinter (brutas)}$$

$$27.0 \times 24 = \underline{648} \text{ ton/día gaseis de combustión}$$

$$6739 \text{ salidas} = 6740 \text{ entradas}$$

## C A R G A :

## S I N T E R

GASES DE  
COMBUSTION

	%	ton/hr.			ton/hr.
1.- COQUE: 14 ton/hr.					
C	76.0	10.64		C	10.64
S	1.0	0.14		S	0.14
Cenizas	18.0	2.52	cenizas	2.52	
Mat. Vol.	5.0	0.70		Mat. Vol.	0.70
2.- FUNDENTES: 15.30 ton/hr.					
SiO <sub>2</sub>	1.06	0.16	SiO <sub>2</sub>	0.16	
CaCO <sub>3</sub>	63.91	9.78	CaO+MgO	7.99	CO <sub>2</sub> 7.07
MgCO <sub>3</sub>	34.71	5.31			
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.50	0.08	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08	
3.- MINERAL: 189.0 ton/hr.					
SiO <sub>2</sub>	5.30	10.02	SiO <sub>2</sub>	10.02	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.82	1.55	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.55	
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	2.05	3.87	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	3.87	
CaCO <sub>3</sub>	8.85	16.72	CaO	9.36	CO <sub>2</sub> 7.35
Otros			Otros		
óxidos	1.50	2.83	óxidos	2.83	
CaSO	0.55	1.04	S	0.04	SO <sub>2</sub> 0.40
			CaOSiO <sub>2</sub>	0.48	O <sub>2</sub> 0.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	80.93	152.96	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	135.75	O <sub>2</sub> 0.57
			Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	16.64	
4.- RETORNO:					
	100.00	<u>62.5</u>	RETORNO	<u>62.5</u>	
		280.8		253.77	27.0

CARGA= 280 ton/hr. = 253.77 + 27.0 = 280.77 ton/hr.  
(sinter)+(gases)

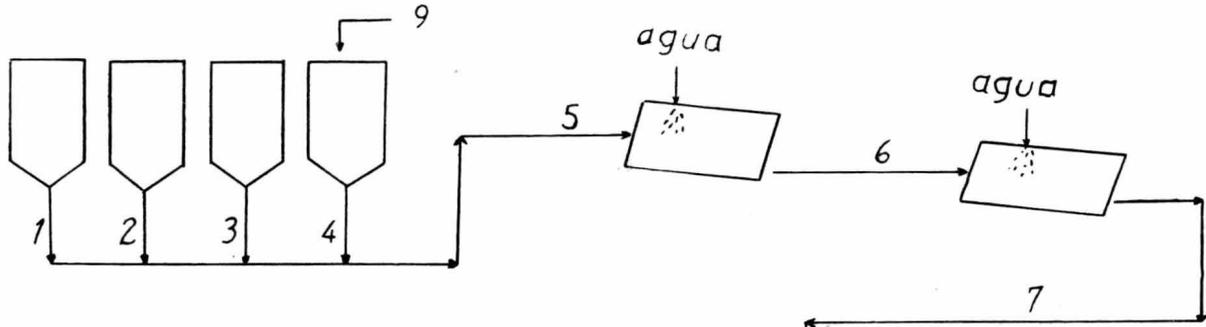
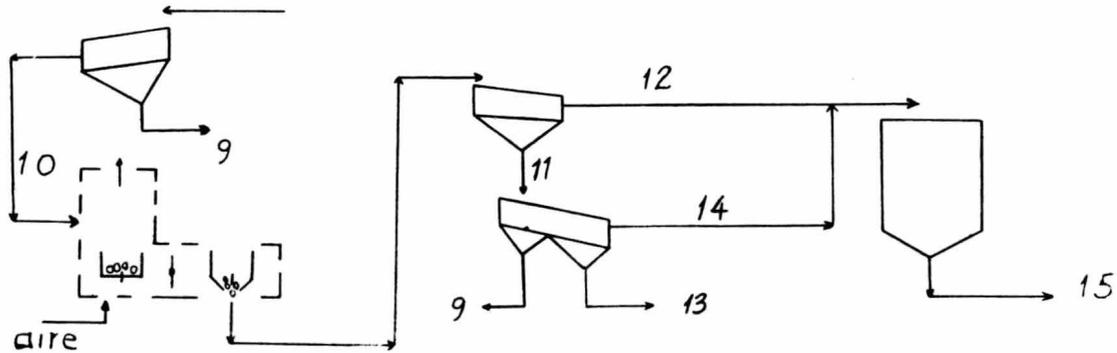
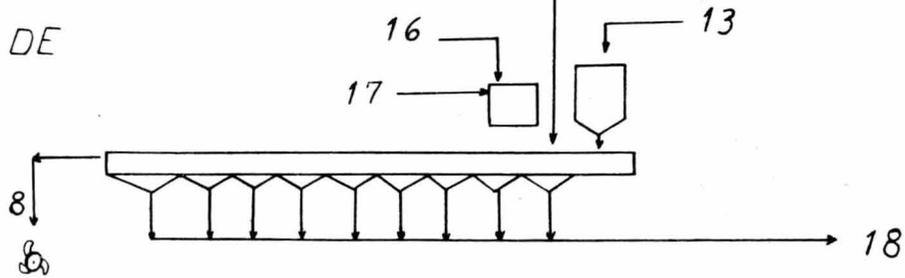


DIAGRAMA DE FLUJO



## Explicación del diagrama de flujo

1.- Mineral homogenizado 189 ton/hr.

	%	ton/hr.
SiO <sub>2</sub>	5.30	10.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.82	1.55
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	2.05	3.87
CaCO <sub>3</sub>	8.85	16.72
CaSO <sub>4</sub>	0.55	1.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	80.93	152.96
Otros óxidos	<u>1.50</u>	<u>2.83</u>
	100.00	189.0

2.- DOLOMITA 15.30 ton/hr.  
(Fundente)

	%	ton/hr.
SiO <sub>2</sub>	1.06	0.16
CaCO <sub>3</sub>	63.91	9.78
MgCO <sub>3</sub>	34.71	5.31
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>0.50</u>	<u>0.08</u>
	100.00	15.30

3.- COQUE 14 ton/hr.  
(Combustible)

	%	ton/hr.
C	76.0	10.64
S	1.0	0.14
Mat. Volátil	5.0	0.70
Cenizas	<u>18.0</u>	<u>2.52</u>
	100.0	14.0
(SiO <sub>2</sub> )	8.25	1.15
(CaO+MgO)	0.58	<u>0.08</u>
		1.23

Cenizas = 2.52 ton/hr. tienen 1.23 ton/hr. de  $\text{SiO}_2 + (\text{CaO} + \text{MgO})$

$$2.52 - 1.23 = 1.31 \text{ ton/hr. de otros compuestos}$$

4.- RETORNO 62.5 ton/hr.

Mismo análisis que el sinter producido, ver N° 8.

5.- Mezcla total: 280.8 ton/hr.

6.- Mezcla total más el 70% de humedad total.

(humedad = 7.0%)

7.- Mezcla total más el 100% de la humedad total.

(humedad = 10%)

8.- Sinter terminado 253.8 ton/hr.

	%	ton/hr.
$\text{SiO}_2$	5.96	15.13
$\text{CaO} + \text{MgO}$	9.17	23.28
$\text{R}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$	0.86	2.18
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	2.05	5.20
$\text{CaOSiO}_2$	0.25	0.64
S	0.020	0.05
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	71.44	181.32
$\text{Fe}_3\text{O}_4$	8.75	22.20
otros óxidos	$\frac{1.50}{100.0}$	$\frac{3.80}{253.80}$

$$\text{Basicidad} = \frac{17.43}{11.33} = 1.53$$

- 9.- Sinter fino menor de 6.3 mm.
- 10.- Sinter mayor de 6.3 mm.
- 11.- Sinter menor de 25 mm.
- 12.- Sinter mayor de 25 mm.
- 13.- Sinter mayor de 6.3 mm. y menor de 19 mm. para la protección -  
de la cadena de sinterización (colchón).
- 14.- Sinter mayor de 6.3 mm. y menor de 25 mm.
- 15.- Sinter para los altos hornos mayor de 6.3 mm.
- 16.- Gas de coque (42400 m<sup>3</sup>/día)
- 17.- Aire de combustión (212,000 m<sup>3</sup>/día).
- 18.- Gases de combustión 27 ton/hr.

	%	ton/hr.
C	39.40	10.64
S	0.52	0.14
Material Volátil	2.60	0.70
CO <sub>2</sub>	53.44	14.43
SO <sub>2</sub>	1.48	0.40
O <sub>2</sub>	2.56	0.69
	<u>100.00</u>	<u>27.00</u>

## 9.- CONTROL DE CALIDAD DEL SINTER

Como se indicó al principio de este trabajo, el mineral y los productos de recuperación finos, no se pueden usar como materia prima de los altos hornos, por los problemas de operación que le causan.

Podemos decir que el principal problema que sucede en un alto horno cargado con materia prima fina es la creación de zonas compactas de este material que dificulta el flujo del gas reductor a través de ellas, ocasionando con esto que el flujo de gas no sea homogéneo en la carga del alto horno, que a fin de cuentas va a tardar más tiempo en fundirse y por lo tanto la producción disminuye notablemente.

Otro problema sería en la dificultad de manejar y cargar este material fino dentro del alto horno.

Por esta razón es que se procesan estos materiales finos para obtener un conglomerado de mineral fundido que tenga características físicas tales que eviten que se destruya este aglomerado produciendo de nuevo material fino. Estas características son la dureza y la resistencia a la degradación en frío y en caliente.

Asimismo, como es materia prima para el proceso de reducción en los altos hornos, debe tener cierto análisis químico que también es muy importante mantener constante.

Para cuidar y vigilar que estas condiciones físicas y químicas sean las correctas, se lleva un control de calidad en los puntos siguientes:

- 1.- Materias primas para sinterizar.
- 2.- Variables del proceso.
- 3.- Producto terminado.

#### 1.- CONTROL DE CALIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS

##### A.- Características físicas.

La principal característica física que se controla es la granulometría del material que se recibe, como se explicó anteriormente, los minerales y recuperados de fierro deben de tener un máximo de 6% en el tamaño mayor de 6.3 mm. para facilitar su fusión en la sinterización (3, Pág. 75) (1, Pág. 44) (Esta norma se lleva en AHMSA, dándole una tolerancia hasta de 8% mayor de 6.3 mm). Además se debe de cuidar también que no venga demasiado fino menor de malla 100 (.15 mm), ya que este material es difícil de micropelletizar y ocasionan que la mezcla sea muy fina, no teniendo una permeabilidad suficiente para la fusión completa del material.

Si los minerales y recuperados de fierro cumplen con la granulometría correcta, se procede a la homogenización en pilas de aproximadamente 43,000 toneladas. Aquí se lleva un control en las adiciones de cada material y se trata de cumplir con los programas de llenado de pilas lo mejor posible, para evitar diferencias en el análisis químico entre las pilas.

Esta homogenización de minerales y recuperados de fierro tiene dos conveniencias importantes, que son:

1.- Debido a que todos los materiales tienen diferente análisis químico, se logra con esta práctica que se obtenga un análisis promedio en toda la pila.

2.- Como frecuentemente viene una fracción de material de mayor tamaño que el deseado, y debido a la manera de apilar el material, esta fracción rueda hacia los extremos de la pila, logrando con esto un primer cribado del material, ya que el recogedor no levanta la parte inferior de la pila, con esto se le quita carga a la criba de minerales que se encuentra antes de las tolvas dosificadoras.

La granulometría de los fundentes también es importante, como se explicó anteriormente y se debe cuidar que no traiga más de 6% arriba de 3.1 mm.

Además, si todos los fundentes se añaden como finos menores de 3.1 mm. se asegura su descomposición durante la combustión, obteniéndose una escoria resistente y se evitarán análisis químicos incorrectos del sinter.

Al coque se le controla también la granulometría, si es muy fino, se quemará rápidamente no aprovechándose el calor para la fusión, si es muy grueso, se separa a la parte inferior de la mezcla durante el llenado de la cadena de sinterización, empobreciendo la parte superior, por lo cual, con cualquier tamaño de coque fuera del rango deseado, se tendrá una mala sinterización. (3 Pág. 118).

El control de la granulometría de los finos de retorno en la planta, también es muy importante, sobre todo si se tiene un porcentaje alto arriba de 6.3 mm., ya que se está perdiendo producción que se utiliza en los altos hornos como sinter chico.

En tres lugares de la planta se toman las granulometrías de los finos de retorno:

a).- Banda colectora de finos del ducto principal, éstos son los finos del sinter colchón que se pasan a través de las parillas de la cadena de sinterización.

b).- Alimentador de finos calientes a la tolva de finos, estos finos se separan después del quebrador de sinter, en las dos cribas en caliente.

c).- Bandas de finos fríos a la tolva de finos. En la clasificación final del sinter se separan los finos fríos en cribado en frío.

Si en alguno de estos tres lugares se tiene más del 5% en el tamaño mayor de 6.3 mm. en los finos, se reporta el equipo a mantenimiento mecánico para que se revisen y si es conveniente, reparar o cambiar las mallas.

La granulometría de la materia prima tiene mucha influencia en la calidad del sinter, ya que permitirá o no el libre paso del aire a través de la capa.

## PERMEABILIDAD EN FRIO

Tomando en cuenta que la transferencia de calor entre el gas caliente y las partículas sólidas se efectúa por convección, se tiene que la velocidad de avance del frente de flama (zona de fusión) depende principalmente del volumen de aire que atravieza la capa por sinterizar y por lo tanto de la velocidad de ese flujo de aire. (9 Pág. 13).

O sea que para una succión constante (dada por el abanico principal) esta velocidad depende únicamente de la resistencia que ofrece la capa de la mezcla al paso del aire y gases de combustión calientes y a esa resistencia se le llama permeabilidad (3 Pág.118)

La permeabilidad en frío es la que tiene la capa antes de encenderla y depende de la preparación de la mezcla, de la granulometría de los materiales y de la forma en que se deposita la mezcla en la cadena de sinterización. (9 Pág. 13).

Con la preparación de la mezcla se desea formar los micropelets por aglomeración de las partículas finas con agua (3 Pág. 4)-(9 Pág. 13), con lo que la permeabilidad aumentará si esta aglomeración es alta y uniforme. Esta aglomeración también es una variable a controlar en el proceso.

Se debe tener cuidado de no producir micropelets muy grandes, puesto que se obtendría sinter de poca resistencia. La granulometría de esta aglomeración se toma de la mezcla que sale del mezclador

dor secundario después de secar bien la muestra.

Usando finos de retorno en la mezcla se obtiene un aumento en la permeabilidad, lo que mejora la oxidación del sinter en el proceso, la resistencia y por lo tanto, la reducción del sinter en el alto horno. (9 Pág. 29) (1 Págs. 44 y 49).

Además proporcionan una gran superficie de adherencia para el mineral fino en los dos mezcladores ayudando a la micropeletización. (5 Pág. 28).

Desde el punto de vista químico no varía su análisis con el del sinter terminado, por lo que se usa una materia prima de análisis constante.

Si se usan minerales de bajo contenido de fierro, los finos de retorno aumentan la resistencia del sinter terminado y unido al aumento de la permeabilidad, se logra un aumento en la producción. (1 Pág. 44).

También económicamente hablando, se ahorra coque ya que necesitan poco calor para fundirse debido a que ya escorificaron las imrezas que tenían.

La humedad es la tercera característica física que se controla en la mezcla. En el mezclador primario generalmente se adiciona el agua necesaria para alcanzar un 70% de la humedad final; aquí en el mezclador primario, el agua sirve principalmente para mezclar

los materiales ya que aún no comienza la micropelletización, se explicaron ya las otras funciones de este mezclador (7 Pág. 89).

En el mezclador secundario se adiciona el resto del agua para lograr la humedad final de la mezcla (3 Pág. 152), en el sinter N°-2 se trabaja con 10%, obtenido con varias pruebas realizadas en el proceso.

#### B.- Características Químicas.

Toda la materia prima que se usa en sinterización debe de tener las especificaciones químicas necesarias con el fin de producir un sinter de buena calidad.

Las pilas de mineral y recuperados de fierro, si se lleva bien el programa de homogenización, no tienen muchas variaciones en sus análisis químicos, como conocemos las cantidades de cada material en las pilas, se puede calcular un análisis promedio (3 Pág.-76) para poder obtener la cantidad de fundentes necesarios para producir sinter de la basicidad solicitada por los altos hornos.

Se debe de tener especial atención en los elementos que pueden causar problemas en los altos hornos, como: Azufre, aunque en sinterización se elimina más del 80%, no debe pasar del valor máximo de 0.040%. Cobre, que tiene el mineral Sol y Luna usado esporádicamente, ya que todo se queda en el sinter y posteriormente se pasa al arrabio en el alto horno. Zinc, aunque aún no se usa polvos del BOF causan incrustaciones dentro de los altos hornos, por lo que después se deberá de controlar.

## 2.- CONTROL DE LAS VARIABLES DEL PROCESO.

Las variables del proceso que se necesitan controlar para lograr una operación estable de la planta, obtener sinter de buena ca lidad y sobre todo una buena producción, son:

		Rangos Actuales.
Carga Total	° ton/hr.	280-300
Altura capa	cm	38-40
Humedad mezcla	%	10 $\pm$ 1
Altura colchón	cm	2,5 - 5,0
Succión	mm c. agua	800 - 900
Tem. Caja 18	° C	250° mínimo
Temp. cajas 18- 19	° C	20° mínimo
Finos retorno	%	20 - 30 máximo
Gas de coque	m <sup>3</sup> /hr.	1800 - 2000
Aire combustión - gas		relación 5 : 1 gas
Coque en mezcla	%	5 $\pm$ 0.3
Basicidad		1.5 mínimo y pedido por los Altos Hornos.



(Estos valores pueden variar, dependiendo de la operación de la -- planta).

## DESCRIPCION DE LOS VARIABLES.

Carga Total.- Es la cantidad total de mineral homogenizado, fundentes, coque y finos de retorno, la máxima permisible es de 340 ton/hr. por ser carga límite en el mezcla

dor secundario y también sin afectar la micropeletización y la producción.

Altura de Capa.- La altura máxima de trabajo es 45 cm., generalmente se ajusta dependiendo de la micropeletización de la mezcla, de la permeabilidad y de las temperaturas y succiones obtenidas en las tres últimas cajas de la cadena. Está relacionada junto con la carga a la velocidad de la cadena.

Humedad de la mezcla.- Se explicaron ya sus beneficios, pero si se excede se tienen dificultades en la micropeletización, ya que destruyen los aglomerados y por lo tanto, disminuye la permeabilidad.

Altura de colchón.- Ya se explicaron los beneficios de esta variable.

Succión.- Se toma en cuenta principalmente la succión de las cajas 17, 18 y 19 que nos indican si la permeabilidad en caliente es buena.

Temperatura Caja 18.- Es en esta caja donde se termina la sinterización, aquí la temperatura alcanza un máximo y en la 19 disminuye o sea, se comienza un enfriamiento en la cadena de sinterización.

Porcentaje de finos de retorno.- Ya se explicaron los resultados de la correcta adición de esta materia prima.

Gas de Coque.- Se necesita para sintetizar y encender la capa superior de la cadena de 1000 a 1100 Kcal, además la atmósfera en la campana debe ser oxidante para iniciar la sinterización.

Aire de Combustión.- Con la relación de 5 de aire: 1 gas, se obtiene un análisis en los gases de combustión de la campana de 4.0 de  $O_2$  lo que la hace oxidante.

Porcentaje de Coque fino.- Además de los resultados en la resistencia del sinter, se necesita un porcentaje adecuado para obtener de 11 a 13% de Feo. en el sinter.

Basicidad.- El valor lo fija el alto horno de acuerdo a la operación que quieran llevar y aquí se les proporciona con rango de hasta 10 puntos (1 punto = 0.01).

Se tiene además otros factores que se deben tomar en cuenta para obtener sinter de buena calidad, que son:

1°.- Que estén prendidos los 30 quemadores de la campana, para asegurar la combustión de la capa superior.

2°.- Que estén colocadas las tapas superiores de la cadena de sinterización para evitar enfriamiento brusco al sinter.

3°.- Que las placas laterales de los carros de la cadena estén completas, se evita la formación de finos y que quede mineral crudo en ese sector.

4°.- Que esté completo el sello de vitón entre los carros y las cajas de succión, se evitan fugas de succión y por lo tanto retrasos en la combustión.

5°.- Que las parrilas no estén ni quemadas, ni torcidas, para evitar pérdidas en el sinter colchón y a menudo orificios en la capa de sinter que originan finos y material crudo.

### 3.- CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO.

El sinter terminado debe ser un aglomerado que tenga un tamaño uniforme, una buena resistencia tanto a la caída como a la abrasión, una macro y micro porosidad, una buena reducibilidad y análisis químicos constantes dentro de los rangos deseados, además se observa un color plata brillante en un buen sinter.

#### A) Características Físicas.

Al sinter terminado se le hacen pruebas de granulometría, para saber qué fracción está arriba de 6.3 mm, que ya es sinter útil en los altos hornos.

El porcentaje arriba de 6.3 mm. es en promedio de 85 mínimo, con este dato se obtiene la producción neta de la planta.

El otro 15% de sinter menor de 6.3 mm. le ayuda como un "colchón" durante el trayecto de la planta de sinter a los altos hornos, ya que sufre varias caídas en los cambios de bandas y al llegar a las tolvas de los altos hornos. Generalmente este porcentaje aumenta a 20 - 25 en las cribas del alto horno.

Se obtiene también granulometría al sinter colchón, a los finos fríos y calientes.

Pruebas de Resistencia a la Caída (Shatter).

El sinter debe ser resistente a la caída para soportar los -- cambios de bandas, almacenamientos en tolvas y cribados que se llevan a cabo desde que sale de la cadena de sinterización.

La prueba que se le efectúa consiste en pesar 20 Kg. de sinter de tamaño mayor de 9.5 mm. y subirlo en un cajón de fondo abierto a una altura aproximada de dos metros sobre una plancha de acero y se deja caer, se repite la operación cuatro veces, (que simula -- las condiciones de manejo del sinter) y se criba, la fracción mayor de 9.5 mm. es la que da el resultado de la prueba.

Este resultado para que se tenga un sinter resistente debe de ser de 81 - 84 % arriba de 9.5 mm. si sale menor se tiene un sinter frágil, si sale mayor será muy resistente, pero generalmente está -- fundido de más, con lo que pierde su porosidad y por lo tanto reducibilidad. (3 Pág. 52) (12 Pág. 264).

### Pruebas de Resistencia a la abrasión (Tumbler).

Se le conoce como prueba de estabilidad, o sea se trata de de terminar qué fracción del sinter se degrada a menos de malla 30 -- (0.6 mm.), que viene siendo un índice de polvo formado por el sin-- ter.

Se pesan 10 kg. de sinter mayor de 6.3 mm. y se meten en un - tambor giratorio que tiene en su interior dos ángulos soldados para que levanten el sinter y lo tire, al mismo tiempo que está rodando-- adentro. Se gira hasta completar 200 revoluciones, se saca y se cri ba a 6.3 mm. y menos malla 30. (3 Pág. 53) (12 Pág. 264).

La fracción mayor de 6.3 mm. no debe ser menor de 60% del to-- tal y la menor de malla 30 no debe ser mayor que 15% para saber si-- se tiene un sinter de buena calidad.

Para evitar que el sinter sufra mucha degradación en el tra-- yecto a los altos hornos, se debe procurar que el nivel de las tol-- vas de almacenamiento de sinter no baje de la mitad. (8 Pág. 6).

### Prueba de reducibilidad.

Con una muestra de 500 gr. de sinter de tamaño constante en-- tre 9.5 mm. y 19 mm. con los resultados deseados en las dos pruebas anteriores, (SHATTER Y TUMBLER) conociendo con anterioridad su aná-- lisis químico, se coloca en un crisol para efectuarle la prueba de-- reducibilidad.

El crisol con la muestra se coloca en el interior de un horno eléctrico, colgado de una balanza, se comienza a elevar la temperatura hasta 760 grados centígrados, inyectando nitrógeno.

Aquí se anota la variación en peso que sufrió la muestra y se inyecta una mezcla reductora de H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> (14.0 dm<sup>3</sup>/min H<sub>2</sub> y 28.0 dm<sup>3</sup> por minuto N<sub>2</sub>) durante una hora.

La cantidad de hidrógeno inyectada es la equivalente a cuatro veces la necesaria para una reducción completa. Después de este --- tiempo, se enfría con nitrógeno, se apunta el peso perdido que es - la pérdida de oxígeno, se manda analizar la muestra y se calcula la reducibilidad con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Reducibilidad} = \frac{\text{Cantidad O}_2 \text{ perdido} \times 100}{\text{Cantidad de O}_2 \text{ combinado al mineral}}$$

Un resultado experimental de esta prueba sería, por ejemplo, - de 49.7 el % de reducibilidad, lo que indica que con la resistencia del sinter dentro de los rangos deseados en las pruebas físicas, su reducibilidad a 760 grados centígrados es de 49.7, o sea que a la - altura dentro del alto horno donde se tenga esta temperatura, el -- sinter se estará reduciendo en un 49.7%.

Los datos de esta prueba se asemejan a la del método de pérdi da de peso, usando H<sub>2</sub> como reductor que viene en (12 Pág. 268), no- se encontró ningún experimento similar a este en la literatura, se- hicieron en AHMSA varias determinaciones en 1972 y de ahí se toma--

ron los datos. En (3 Págs. 58 a 65 se describen varios métodos de Reducibilidad.

#### B) Características Químicas.

La principal característica química de un sinter de buena calidad es la relación de basicidad, que depende de la buena homogenización de la materia prima en las pilas y de un buen muestreo de -- sinter terminado en la Planta (además de un buen cálculo de fundentes). También se requiere un alto porcentaje de Fe y bajo  $\text{SiO}_2$  --- (ganga) (12 Pág. 270).

La muestra formada durante los muestreos de cuatro horas, se lleva al laboratorio y se le analiza los siguientes compuestos:

$\text{CaO} + \text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}$  y en algunas ocasiones P.

Con las seis muestras llevadas en el día se hace un compósito y se analiza diariamente por Fe, S,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  y  $\text{FeO}$ , teniendo así gran variedad de datos para controlar la calidad del sinter de una manera constante.

El  $\text{FeO}$  está en relación directa con la cantidad de coque usada por lo que se le debe tener una atención especial.

Cuando se repiten dos basicidades fuera de los límites convenidos se hacen las variaciones convenientes en la adición de fundentes.

## 10.- PRACTICAS DE OPERACION

En la Planta de Sinter N° 2 se formularon unas prácticas de operación con el fin de tener un mejor trabajo de la Planta, evitar cambios frecuentes en las condiciones del proceso y además, hacer ver al personal la importancia de su trabajo, con el fin de obtener un producto terminado de la mejor calidad, tanto física como química. Los puntos que la forman son:

### 1.- Patio de homogenización de Minerales

- a) Pilas de mineral fino. Deben de estar formadas todas estas pilas de acuerdo con un programa estipulado y se tratará de no variar las cantidades programadas.

Esto sirve para tener siempre una materia prima de características constantes para hacer un mínimo de movimiento durante el proceso. (3 Pág. 76).

El porcentaje de adiciones usado es el que ha dado mejores resultados en la sinterización.

- b) Granulometrías de los minerales finos que se apilan. Se tiene como porcentaje máximo arriba de 6.3 mm. un 5% y menor de malla -- 100, (menos de .15 mm.) 10% máximo.

Si se encuentra mineral en las góndolas de ferrocarril fuera de estos límites, se puede o no regresar el material al punto de -- procedencia.

- c) En el patio de homogenización, también se almacenan otros materiales que tienen sus especificaciones, éstos son: mineral trozo (12.7-31.7 mm) y pelets (6.3-19.0 mm).

## 2.- Planta de Sinterización

### a) Materias Primas.

Mineral Homogenizado: La pila que se va a alimentar a la Planta, se debe de despuntar o sea, se eliminan los extremos ya que en estos lugares se detiene el apilador con lo que se añade material de más y no se homogeniza bien. (3 Pág. 76).

El mineral de las pilas se muestrea y se manda a analizar cada cuatro horas al laboratorio metalúrgico, además se le hace granulometría para conocer la fracción mayor de 6.3 mm.

Coque: Se debe controlar su tamaño para obtener sinter de buena calidad, este tamaño se grafica y se compara con la gráfica ideal de granulometría que hasta el momento ha dado buenos resultados. Si el tamaño varía mucho del ideal, se procede a aumentar o disminuir la alimentación del molino de coque.

Ocasionalmente se manda coque a analizar por los siguientes datos: carbón fijo, cenizas y materia volátil, si tienen muchas variaciones, se determinan las correcciones necesarias.

El coque usado en la planta se mezcla antes de pasar al molino de coque. Además se determina la humedad del coque fino para añ

dirla en el cálculo de la carga.

Fundentes: Se debe de controlar la granulometría y se manda a analizar ocasionalmente. Recordar que es importante para la fusión del mineral y para aumentar resistencia del sinter. Se debe corregir la adición de fundentes si se tienen problemas de humedad. (8 Pág. 5).

b) Tolvas dosificadoras, mezcladores primario y secundario.

Las tolvas dosificadoras, se deben mantener a buen nivel (mitad-mínimo) y en la cabina se checa el tonelaje alimentado a la Planta.

En los mezcladores primario y secundario, se debe cuidar que los atomizadores estén limpios para obtener buen resultado en la micropeletización.

La relación de agua en cada uno es la siguiente:

70% en el primario y 30% en el secundario.

c) Cadena de Sinterización.

En el capítulo de control de calidad, se explicaron las variables de operación que se controlan en este equipo.

d) Cribados en frío y caliente, enfriador circular.

Cribado en caliente: El área útil de estas cribas es de 17% des-

pués de los resultados obtenidos en disminución de demoras y aumento de producción.

Enfriador Circular: Se regula la velocidad de este equipo en el 95% de la velocidad de la cadena de sinterización.

Cribado en Frío: Se debe de tener especial atención en la sección de sinter colchón, evitar que se tapen las mallas y aumente el porcentaje de sinter menor de 6.3 mm. en la protección de la cadena, ya que se pasan a través de las parrillas y causan problemas en la cadena de sinterización.

### 3.- Sinter Terminado

Se le efectúan pruebas de granulometría, resistencia a la caída, resistencia a la abrasión y se muestrea durante cuatro horas para mandar un compósito al laboratorio a analizar seis veces diarias.

Estas prácticas de operación se empezaron a usar en Septiembre de 1974 y durante los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre se tomaron datos para conocer su aplicación, se resumen en los siguientes:

<u>Condiciones</u>	<u>Rango</u>	<u>Promedio</u>	<u>Desviación Stándard</u>
Temp. Caja 18	250° C mín.	314.6	41.70
Succión Caja 18	800-900 mm. CA	816.3	40.50
Carga Total	300-340 ton/hr.	297.6	9.96
% Coque	4.7-5.3	5.16	0.36
% Finos Retorno	20-30	27.70	3.21

Altura de capa	36-38 cm.	33.5	1.62
Shatter % + 9.5 mm. (caída)	81-84	82.70	1.54
Tumbler % + 6.3 mm. (abrasión)	60 min.	59.68	1.69
Tumbler %-M30 (0.6 mm)	10-15	11.92	3.67
Granulometría sinter % + 6.3 mm.	80 min.	83.22	2.42
Granulometría Mineral % + 6.3 mm.	6 máx.	7.15	1.97
Granulometría Coque % + 3.1 mm.	15 máx.	10.0	3.18

11.- CUADRO DE PROBLEMAS EN EL SINTER TERMINADO, LAS POSIBLES CAUSAS Y -  
LAS SOLUCIONES SUGERIDAS.

Cuando se produce sinter de calidad inferior a la deseada, puede --  
ser debido a algún descuido ya sea en las materias primas o en la opera-  
ción de la planta, por esto, además de las prácticas de operación, se --  
tiene una tabla de soluciones a los problemas que se pueden presentar.

A.- Problema: Sinter Crudo.

Posibles causas: (1) Falta de coque  
(2) Carbón fijo del coque bajo  
(3) Exceso de humedad

Soluciones Probables: (1) Aumentar % coque gradualmente hasta  
tener análisis de FeO entre 11-13 %  
(2) Checar análisis y aumentar coque  
(3) Disminuir agua en mezcladores, che-  
car mezcla, checar succiones (800 -  
900 mm. CA).

B.- Problema: Sinter de apariencia buena pero frágil.

Posibles causas: (1) Succión baja (menos de 800 mm CA)  
(2) Succión alta (más de 900 mm CA)  
(3) Coque muy fino  
(4) Frente de flama bajo  
(5) Altura de capa alta

- Soluciones probables:
- (1) Checar succiones, aumentar capa de mezcla.
  - (2) Checar succiones, disminuir capa - de mezcla
  - (3) Corregir granulometría, aumentando carga al molino
  - (4) Checar succiones (800-900 mm CA).
  - (5) Disminuir capa de mezcla

C.- Problema: Sinter bueno y malo

- Posibles causas:
- (1) Coque grueso
  - (2) Fallando talud
  - (3) Fallando Agua
  - (4) Placas laterales en mal estado
  - (5) Velocidad de la cadena

- Soluciones probables:
- (1) Corregir granulometría disminuyendo carga al molino
  - (2) Corregir talud en cabina de control.
  - (3) Corregir alimentación de agua a los mezcladores
  - (4) Cambiar las placas defectuosas
  - (5) Checar velocidad de cadena en automático

D.- Problema: Sinter con granos de mineral sin fundir

Posible causa: (1) Mineral grueso

Solución probable: (1) Checar granulometría de las pilas-  
de minerales y revisar las mallas-  
de la criba.

E.- Problema: Sinter Moteado (puntos blancos)

Posible causa: (1) Fundentes gruesos

Solución probable: (1) Checar la granulometría de los fun-  
dentes, el pulverizador de dolomi-  
ta y las mallas de la criba.

F.- Problema: Sinter fundido

Posibles causas: (1) Exceso de coque  
(2) Carbón fijo del coque alto

Soluciones probables (1) y (2) : Disminuir porcentaje de co  
que hasta tener análisis de FeO de  
11 a 13 en el sinter.

G.- Problema: Sinter crudo sin haber parado la planta

Posibles causas: (1) Mineral muy fino  
(2) Falta de agua  
(3) Falta de coque  
(4) Exceso de carga total

- Soluciones Probables:
- (1) Disminuir carga para mezclar bien, aumentar agua, aumentar finos de retorno.
  - (2) Aumentar agua en mezcladores.
  - (3) Aumentar coque hasta tener de 11-13% de FeO en el sinter.
  - (4) Disminuir carga total.

H.- Problema: Exceso de producción de finos de retorno.

- Posibles causas:
- (1) Fugas
  - (2) Falta de parrillas.
  - (3) Placas laterales en mal estado.
  - (4) Fallando talud.
  - (5) Falta de tapas de la cadena
  - (6) Falla de gas de coque en la campana de encendido.
  - (7) Falta de coque.
  - (8) Repercusiones de puntos anteriores.

- Soluciones:
- (1) Revisar sello vitón de la cadena.
  - (2) Cambiar y completar parrillas
  - (3) Cambiar placas defectuosas.
  - (4) Corregir talud en la cabina de -- controles
  - (5) Colocar tapas faltantes

- (6) Aumentar gas de coque ( $1800 \text{ m}^3/$  -  
Hr mínimo), trabajar con 30 quema  
dores.
- (7) Aumentar % coque hasta 11-13% de-  
Feo sinter.
- (8) Ver detalles de puntos anteriores.

I.- Problema: Variando basicidad del sinter.

Posibles causas:

- (1) Fallando tonelaje en tolvas dosi-  
ficadoras.
- (2) Fallando análisis de fundentes.
- (3) Mal muestreo de sinter.
- (4) Fundentes gruesos
- (5) Mala homogenización de pilas

Soluciones Probables:

- (1) Checar y corregir alimentación de  
las tolvas dosificadoras.
- (2) Checar análisis de fundentes y co-  
rregir.
- (3) Mejorar el muestreo del sinter.
- (4) Checar granulometría de los fun-  
dentes, pulverizador de dolomita-  
y mallas de criba.
- (5) Checar análisis de pilas y corre-  
gir, revisar programa de homogeni-  
zación de pilas.

## 12.- MODIFICACIONES A EQUIPOS

### 1.- Cribado en caliente:

Los equipos de esta sección daban muchos problemas a mantenimiento-mecánico, ya que la erosión y calentamiento aquí son muy altos.

Tomando en cuenta lo anterior y con el fin de disminuir al mínimo - las demoras en éste equipo, además de aumentar la producción por hora -- (disminuyendo % de finos de retorno a la carga y logrando más tiempo de trabajo) se efectuaron pruebas de ir disminuyendo el área útil de las -- dos cribas de esta sección.

Se comenzó cerrando completamente las cribas y paulatinamente se -- abría los siguientes porcentajes 25%, 17% y 50%.

Encontrándose el de 17% abierto el mejor en cuanto a demoras producidas y a cantidad de finos de recirculación obtenido.

Tabla comparativa de abertura de cribas contra horas de demora:

	Demoras Totales	Demoras cribado en caliente	%
Junio	75.34 Hr.	19.24 Hr.	39.0
Julio 1° -17	59.23	22.25	37.7
Julio 18 -31	51.00	0.08	0.25
Agosto	64.34	9.10	14.1

Se tienen las siguientes conclusiones:

- 1.- Se disminuyeron demoras en más del 50%.
- 2.- Aumenta la producción proporcionalmente a la disminución en las

demoras.

3.- Las placas ciegas en las cribas disminuye el costo de las cri--  
bas, además de que disminuyen los costos de mantenimiento.

4.- Disminuyó asimismo las demoras y los problemas con el transpor-  
tador de cangilones de finos calientes o la tolva de finos de -  
retorno.

## 2.- Mezclador Secundario (En estudio).

Tomando en cuenta que la calidad del sinter depende de una manera -  
especial de la preparación de la mezcla, se propuso una modificación en-  
el mezclador secundario que es donde se micropeletiza la mezcla total.

Esta modificación consiste en instalar otro mezclador en paralelo -  
al ya existente para distribuir la alimentación en los dos equipos y lo-  
grar que la mezcla se micropeletiza de manera más completamente.

Con una mejoría en la micropeletización se tendría un aumento en la  
permeabilidad de la mezcla logrando con esto un sinter resistente de bue  
na calidad.

Otro punto que es para discutir es el siguiente: ¿Cómo debe ser la-  
superficie interior de un mezclador-granulador, lisa o rugosa?

Se ha estado trabajando en el mezclador secundario con una superfi-  
cie interior rugosa formada por la adherencia de material en las paredes,  
debido a la instalación de una malla interior, para proteger al tambor -  
de la abrasión debida a la mezcla pero, los resultados obtenidos no eran

los que se esperaban de un tambor de esas dimensiones, con la carga que se le alimenta, por lo cual se cambió el mezclador y se reinstaló de nuevo otra malla, que por el momento ha dado los resultados deseados, no se ha experimentado con superficie lisa.

### 3.- Alargar la cadena de sinterización (En estudio).

Tomando como antecedente el cribado en caliente que causaba problemas de mantenimiento grandes, se pensó en la posibilidad de alargar la cadena de sinterización hasta el enfriador circular permitiendo que se enfriara el sinter terminado en la cadena. Esto ahorraría la sección de cribado en caliente, el alimentador de finos calientes de retorno y el transportador de cangilones inclinado y quizá se modificaría el quebrador de sinter, ya que según pruebas el sinter frío no es tan duro como el caliente.

Esta modificación se puede efectuar ya que últimamente se han diseñado y construido varias plantas así.

También mediante esta modificación se tendría aumento en la calidad del sinter ya que al dejar enfriar en la cadena, se logra mayor resistencia y tamaño más homogéneo del producto terminado.

### 13.- REPORTES DE CONTROL DE CALIDAD

El departamento metalúrgico lleva un control de calidad en la producción de sinter, para ello, cuenta con un metalurgista de las plantas de sinter que se encarga de checar, la materia prima, las principales variables del proceso y las especificaciones del sinter terminado.

Para esto se ayuda de un encargado de control por turno, teniendo además una persona que se encarga de sacar promedios a los datos obtenidos, graficar algunas de las variables más importantes y de tener al día toda la información tomada de los informes, así como también los análisis de la materia prima y sinter terminado.

Los reportes que se hacen en las plantas de sinter se pueden dividir en:

- 1.- Reportes diarios de: pruebas físicas, análisis químicos, lecturas de cabina de controles, se podría añadir los de producción diaria.
- 2.- Reportes semanales, se hace un resumen de los resultados obtenidos en la semana.
- 3.- Reportes mensuales, donde se comparan y analizan todos los datos en un mes de trabajo.
- 4.- Reporte anual, aquí se analizan los resultados obtenidos, mejoras o problemas y se analiza lo realizado en el año comparándolo con el anterior.

## 1.- Reportes diarios:

A.- Pruebas físicas y granulometrías.

En hojas especiales se anotan los resultados de las siguientes pruebas y granulometrías de las plantas de sinter:

Resistencia a la caída Shatter.

Resistencia a la abrasión Tumbler.

Granulometrías de:

Mineral tolvas dosificadoras.

Mineral pilas de finos, trozo y pelets.

Dolomita y caliza finas.

Coque del molino con gráfica.

Finos de retorno fríos y calientes.

Sinter colchón.

Mezcla antes y después del mezclador secundario.

Sinter terminado antes y después de la tolva de almacenamiento final.

Ocasionalmente de dolomita trozo, retornos de sinter, minerales cribados y minerales gruesos de minas diversas.

Se reportan análisis de Shatter del sinter de planta 1 y cualquier resultado fuera de rangos deseados.

B.- Análisis Químicos

Los encargados de control mandan cada cuatro horas (7.00, 11.00, 15.00 etc.) muestras debidamente cuarteadas de sinter terminado y mineral de tolvas dosificadoras a analizar al laboratorio metalúrgico, deben de pedir los resultados de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}+\text{MgO}$  y  $\text{FeO}$  del sinter y  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}+\text{MgO}$  y S del mineral y apuntarlo en la hoja especial que se tiene, obtienen la basicidad de los dos sinter (Nos. 1 y 2 y de la pila) reportándolos a los observadores metalúrgicos de los altos hornos.

Además deben apuntar el porcentaje de fundentes y coque -- que se tenga a esa hora.

El laboratorio diariamente hace un compósito de las seis muestras de sinter y también el resultado se anota en este reporte.

El encargado de control muestrea y cuarteo los materiales que se deseen mandar a analizar, se tiene un programa para cada materia prima que se maneja en la planta de sinter y algunos que son para el alto horno (Pellets generalmente) Estos análisis los lleva el encargado de los promedios y demás información

C.- Lecturas de la cabina de Control.

El departamento de operación de la planta tiene a una per-

sona por turno encargada de la cabina de controles, entre los deberes que tiene que realizar está el de apuntar cada hora en una forma especial los siguientes datos de la operación de la planta:

Número de pila que se está consumiendo.

Toneladas de mineral.

Porcentaje y toneladas de finos de retorno.

Nivel de la tolva de finos de retorno.

Temperaturas y succiones del ducto principal y de las cajas de succión 17, 18 y 19.

Gasto de agua en mezcladores primario y secundario y humedad de la mezcla.

Altura de capa de mezcla.

Porcientos de coque y fundentes.

Velocidad de la cadena de sinterización.

También señala si se sacan finos a la tolva, variaciones de algún porcentaje de la carga y si la planta tuvo que pasar pone una nota general.

Reportes de producción diaria.

En el tablero de la cabina se tienen unos integradores de la alimentación de cada tolva dosificadora que sirven para conocer el consumo de materias primas y sinter de retorno por turno.

En este reporte se apunta lo siguiente:

Consumo de mineral, dolomita, coque y finos de retoro (ton/hr).

Consumo de gas de coque ( $m^3$ ).

Horas de trabajo de la cadena.

Sinter terminado mandado a los altos hornos (Tons).

Con estos datos se hace el balance de producción diaria de la siguiente manera:

FECHA 3-IV-1975 TURNO C

Total mineral	1446	(3 tolvas dosificadoras)
	<u>x.95</u>	(5% pérdidas en combustión)
	1373.30 ton.	
Total fundentes	229.7	(2 tolvas dosificadoras)
	<u>x.55</u>	(45% pérdidas en combustión)
	126.33 ton.	
Total coque	133.2	(Tolva dosificadora)
	<u>- 13.3</u>	(Se resta la humedad del coque)
	119.9	
	<u>x.18</u>	(18% de cenizas de promedio)
	21.58 ton.	
Suma	1373.30	
	126.33	
	<u>21.58</u>	
	1521.61	Ton. Producción de sinter en el turno.

PRODUCCION TOTAL = 190.2 ton/hr.  
Horas cadena

$$\frac{\text{PRODUCCION}}{\text{CARGA TOTAL - FINOS RETORNO}} \times 100 = \text{rendimiento}$$

$$\frac{1521}{2285 - 573} = 88.88 \%$$

Corrección a las toneladas de coque por su humedad

$$\text{Ton coque/Hora} = \frac{\text{Carga ton/hora} \times \% \text{ Coque}}{100\% - \% \text{ Humedad del coque}}$$

## 2.- Reporte Semanal.

Este reporte se presenta en una junta de metalurgista de toda la planta los lunes en el laboratorio.

Se incluyen en este reporte los siguientes datos obtenidos durante una semana en las dos plantas de sinter:

### 1.- Producción de sinter.

Producción mínima, máxima y semanal

Producción de la semana anterior y su diferencia con la semana reportada.

### 2.- Pruebas físicas y granulometrías.

Resultados promedio de Shatter, Tumbler y granulometrías de sinter, dentro de los rangos deseados.

### 3.- Basicidades.

Rango deseado de basicidad.

Número y porcentaje de muestras que quedaron dentro y fuera del rango.

Promedio semanal de basicidad.

4.- Producción total de las dos plantas.

Consumo de sinter en los altos hornos.

5.- Observaciones a cualquiera de estos puntos o sobre problemas relacionados con la producción y calidad del sinter.

3.- Reporte Mensual.

En este reporte se incluyen los siguientes datos de la operación, producción y control de calidad de las dos plantas de sinter.

SINTER N° 1.

Promedio quincenal de los siguientes parámetros.

Análisis químico del sinter.  $\text{CaO} + \text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Fe,  $\text{FeO}$ , S.

Resultados de pruebas físicas y granulométricas.

Relación mensual de las muestras dentro y fuera de rangos de los siguientes datos:

Resultados de pruebas físicas, granulometrías y basicidades.  
Resultados mensuales de producción bruta y neta y rendimiento-obtenido.

Además se grafican los promedios diarios de:

Basicidades.

Shatter

Tumbler

Granulometría

SINTER N° 2.

Comparación de resultados de análisis químicos entre cada pila consumida en la planta con el sinter producido.

Resultado de pruebas físicas y granulometrías.

Relación mensual de las muestras dentro y fuera de rangos de los siguientes datos:

Resultados y pruebas físicas, granulometrías y basicidades.

Resultados mensuales de consumos de materias primas, producciones bruta y neta, rendimiento y toneladas de sinter por día operado.

Se grafican los promedios diarios de:

Basicidades

Shatter

Tumbler

Granulometría

Se hacen comentarios sobre la calidad de las materias primas en la carga; de condiciones de operación y de los resultados -

del sinter terminado.

### Reporte Anual de Sinterización

Este reporte de 1974 se hizo desde el punto de vista de control de calidad.

En él se reportan actividades, pruebas y resultados obtenidos durante un año de trabajo y abarca los siguientes puntos:

#### 1.- Patio de Homogenización:

Se formaron las pilas de acuerdo a un programa único, y en algunos casos, dependiendo de la existencia de materiales se variaban los porcentajes en las pilas; el promedio de Fe en las pilas fué de 56.00.

#### 2.- Mineral fino "La Perla".

Se le pidió a la mina de fierro que mandara el mineral dentro de especificaciones granulométricas constantes en el tamaño menor de 6.3 mm y en el pulverulento (menos de malla 100, .15 mm.).

Este control dió como resultado una mejor formación de pilas, que permitió producir sinter de mejor calidad.

#### 3.- Prácticas de Operación.

Se hicieron estas prácticas para no variar las condiciones de operación de la planta, se logró mejorar la calidad del sinter y aumentaron en producción de sinter neto

y el rendimiento.

Se elaboró un cuadro de problemas frecuentes con las causas y probables soluciones.

4.- Modificaciones en cribado en caliente.

Se redujo el área de trabajo a 17% desde Julio.

Disminuyeron las demoras ocasionadas por este equipo y -  
aumentó la producción en el segundo semestre del año.

5.- Porcentaje de coque en la mezcla.

Aumentó hasta 5.0% para lograr una mejor resistencia en-  
el sinter, además ayuda a disminuir la producción de fi-  
nos de retorno.

6.- Basicidades trabajadas.

Por lo general se trabaja con basicidades arriba de 1.50,  
lo que es bueno para la resistencia del sinter, aumentan  
do el carácter de sinter superfundente en su consumo en-  
los altos hornos.

7.- Análisis del Sinter.

Comparando análisis de 1973 y 1974 se nota lo siguiente-  
como más importante.

	1973	1974
Fe	54.60	53.80
FeO	9.10	10.48
B/A	1.43	1.63

El porcentaje de Fe en las pilas es de 56% y se obtiene sinter de 53.80 % de Fe.

Disminuyó el % de Fe en 1974 debido a que se trabajó con mayores basicidades.

El % de FeO subió en 1974 porque se aumentó el % de coque en 4.3 (1973) hasta 5.0 %.

#### 8.- Pruebas Físicas.

Se cambió en marzo el método de prueba del Shatter, antes se usaba el porcentaje mayor de 19 mm, mínimo 70%. Se vió que este valor no tenía mucha sensibilidad con diferentes calidades de sinter por lo que se cambió a un método que toma el tamaño de 9.52 mm y el mínimo de seado es 81 %.

#### 9.- Producción.

Tomando en cuenta el control efectuado en la planta de sinter # 2 con los diferentes cambios propuestos por el laboratorio se logró mejorar considerablemente la producción neta de 1974 con respecto a 1973.

	1973	1974
Producción Neta	787 974	930 150 tons.

Además que en octubre de 1974 se produjeron 93,903 Ton. netas de sinter que superó el record anterior de Abril de 1972 en 63 Ton. netas.

Aumentó el rendimiento anual de 64.30 en 1973 a 68.20- en 1974.

## CONCLUSIONES

La sinterización es un proceso muy importante para la producción de arrabio en los altos hornos.

Se vió que usando sinter se aumenta la capacidad de producción de arrabio y es por este motivo que la calidad del sinter debe ser tal, que se evite su degradación en su manufactura y transporte hasta los altos hornos.

Para obtener un sinter de buena calidad es necesario tener control de las materias primas usadas, de la operación de la planta y sobre todo de su análisis químico.

Es labor del metalurgista estar preparado para controlar los tres puntos anteriores y producir un sinter apropiado para ser usado como materia prima en los altos hornos.

Es también de mucha importancia que los diferentes departamentos que trabajan en la planta de sinter tengan trabajo en común, encauzado a una buena producción y calidad de sinter.

Afortunadamente esto se está logrando en las plantas de sinter, además que las indicaciones sugeridas por el Laboratorio Metalúrgico por medio del Metalurgista, tales como las prácticas de operación, cuadro de problemas y soluciones, modificaciones a equipos, entre otros, han sido aceptados y llevados a la práctica para lograr las metas deseadas.

Altos Hornos de México en la continua superación que se ha impuesto, tiene la obligación de producir materiales de excelente calidad para el progreso de México.

Y todos los que trabajamos en las plantas de sinter estamos contri-  
buyendo a que estos deseos sean realidad.

Atentamente

FRANCISCO JAVIER ROCHA GARZA

Metalurgista de las plantas de Sinter.

México, 29 de Septiembre de 1975.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 AIME  
BLAST FURNACE COKE OVEN & RAW MATERIALS.  
Proceedings Volume 14.
- 2 AMIME Monclova  
RESUMEN DE CONFERENCIA SOBRE SINTE-  
RIZACION.
- 3 BALL D.F. et al  
AGLOMERATION OF IRON ORES.  
American Elsevier Pub. Co. Inc.  
New York 1973.
- 4 BAN THOMAS E. et al  
SELF FLUXING SINTER Artículo del Mi  
ning Engineering. Octubre 1959.
- 5 BAGNALL E.J.  
INFLUENCE OF FEED SIZA DISTRIBUTION  
ON SINTER MICROSTRUCTURE AND PRO--  
PERTIES BHP. Technical bulletin Vol.  
17 N° 1 Abril 1973.
- 6 COHEUR P.  
CONTINUOUS QUALITY CONTROL OF ----  
DWIGHT LLOYD'S SINTER. Centre Natio  
nal de Rechercher Metallurgiques.
- 7 DI POGGIO E. et. al  
EXPERIENCIES TO INCREASE PRODUCTIVI  
TY IN A SINTER PLANT BY ACTING ON -  
THE FEED MIX.  
Italsider SPA. Italy.
- 8 FRAME CHARLES P.  
HIGH BASICITY SINTER. Inland Steel-  
Co. Indiana Harbor Works Reporte.
- 9 INTERNATIONAL ENGINEERING  
SERVICES FRANCIA  
CONSIGNAS PARA LA PUESTA EN MARCHA-  
Y FABRICACION, PLANTA DWIGHT-LLOYD.  
AHMSA, MONCLOVA.
- 10 KNEPPER WILLIAM A.  
AGGLOMERATION. Interscience publi--  
sher. (John Wiley & Sons. New York  
1961).
- 11 RUDOLPH CARLOS G.  
SINTERIZACION DE FINOS DE LA PLANTA  
SAVIO. ARGENTINA ILAFA. Nov. 1970 -  
N° 127.
- 12 STRASSBURGER JULIUS H.  
BLAST FURNACE THEORY AND PRACTICE -  
VOL. 1. Gordon and Breach Science -  
Publ. New York 1969.

13 U.S. STEEL CORPORATION

MAKING, SHAPING, AND TREATING OF  
STEEL.