

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



"PRUEBAS DE CONTROL Y CARACTERIZACION
DE MINERALES DE HIERRO AGLOMERADOS
(PELETS)"

(MONOGRAFIA)

429

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A:

DANIEL ALFREDO SOSA RAMIREZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ME

CLAS. Tesis

ADQ. 1976

FECHA

PROC. ME

~~405~~ 405

JURADO DESIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA.

Presidente, Prof. ENRIQUE CURIEL REYNA_____

Vocal, Prof. ALEJANDRO ESPRIU MANRIQUE_____

Secretario, Prof. HUMBERTO MALAGON ROMERO_____

1er. Suplente, Prof. BERNARDO CAMPILLO Y LLANES_____

2o. Suplente, Prof. FRANCISCO HERRERA CASTAÑEDA_____

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.

Sustentante: Daniel Alfredo Sosa Ramirez_____

Asesor del Tema: M. en C.

ALEJANDRO ESPRIU MANRIQUE_____

DEDICATORIA

Existen muchas cosas en la vida que pueden halagar y hacer felices a las personas, pero también hay cosas que producen amargura y dolor, estos se manifiestan en personas y en pueblos. De las primeras tengo muchas que agradecer, fueron alegrías humildes las que me han dado esa felicidad que llevo dentro, que me han dado la satisfacción de poder seguir adelante en cada cosa, y la fuerza suficiente para levantarme después de cada derrota y la fuerza para poder amar; esas cosas partieron de grandes sacrificios que con palabras nunca podrán describirse, son las cosas más hermosas que pueda recibir.

Por otra parte, de las segundas se encuentran a cada día, injusticias que se cometen, opresiones a las clases débiles y asesinatos causados por ambiciones de poder y egoísmo, cosas que hacen sentir a cualquier persona que se precie de humana, peor que bestias, indignos de ser o existir. Por esas cosas, para terminar con esos crímenes y bestialidades, tenemos la obligación todos de conservar sentimientos y recordar sin ir tan lejos, a nuestro pueblo, a todos los humildes de la humanidad, a luchar por ellos, son quienes más nos necesitan, a ellos debemos mucho.

Quiero dar especial agradecimiento a mi madre, a quien debo más que ayuda, mimos y muchas otras cosas: amor, algo que es difícil de dar realmente y que ella ha sabido dar de

la manera más sublime, sin importarle ninguna privación, si bien es cierto que mi condición no me ha permitido corresponder como ella merece realmente, decir que la amo es una realidad, es un sentimiento que es parte de mí, muchas cosas podrían decirse, pero ella sabe que más no pudo habernos dado y eso lo estimo por encima de todo. A mi padre, he de agradecer las cosas que me ha dado, de ese mundo, en ese carácter, en esa barrera difícil, formada por la vida que ha tenido, ha podido en ocasiones llegar a la profundidad de los sentimientos de nosotros y ha sabido dar enseñanzas. Agradezco a mi hermano su ayuda en ocasiones contraria a sus deseos pero que para mí ha resultado , agradezco y recuerdo siempre sus detalles hacia mí, sus pláticas ofensivas y su carácter loco, ese hermano tan padre! . Agradezco a todos, a mi abuelo ya ausente, a toda la familia y a los amigos, amigos verdaderos que oportunamente me supieron ayudar, a esos compañeros y a todos los demás; doy gracias a mis amigos alegres y enojones, que también son hermanos y que enseñan muchas cosas.

A todos aquellos que me ayudaron a desarrollar este trabajo, especial gratitud, y también a los maestros y compañeros que durante mi vida de estudiante me han impulsado de una u otra forma.

INDICE

	<u>PAG.</u>
Introducción	1
I Proceso de Peletización	4
I.1. Antecedentes	4
I.2. Ventajas de la Peletización sobre otros procesos de aglomeración	6
I.3. Descripción del Proceso de Peletización.	8
I.4. Características del Pelet Verde e importancia de las variables que toman parte en su formación.	12
I.5. Equipos empleados en la formación de pelets.	17
I.6. Hornos para endurecimiento de Pelets Verdes.	29
I.7. Conclusiones	37
II Pruebas a Pelets Verdes	43
II.1. Pruebas que se efectúan a Pelets Verdes o Húmedos.	43
III Pruebas que se efectúan a Pelets endurecidos	48

	<u>PAG.</u>
III.1. Análisis de cribas o tamaño de partícula.	48
III.2. Resistencia a la compresión.	51
III.3. Resistencia a la abrasión ("Tumbler")	54
III.4. Porosidad	68
III.5. Basicidad	73
III.6. Hinchamiento (o swelling) y Reducibilidad	75
III.7. Reducibilidad	85
III.8. Conclusiones y Recomendaciones	92
 TABLAS ANEXAS:	 96
 REFERENCIAS	 105

"PRUEBAS DE CONTROL Y CARACTERIZACION DE MINERALES DE HIERRO

AGLOMERADOS (PELETS)"

INTRODUCCION

En virtud de la heterogeneidad de la naturaleza de los yacimientos de mineral de hierro en todo el país, la mala ubicación de algunas industrias procesadoras de éstos, lo obsoleto de algunos equipos empleados y el enorme incremento que debe generarse en materia de acero en México en la siguiente década, es inevitable el tener que introducir técnicas modernas en la preparación de estos minerales para obtener un mejor aprovechamiento de los mismos; esto lo conforma el hecho de que a pesar de ser procesos costosos, se ha empezado a construir en la actualidad plantas peletizadoras en todo el país, aumentando de una manera considerable la ley del mineral, disminuyendo como consecuencia el costo del transporte y evitando además el exceso de consumo de energía a lo largo de los procesos a que será sometido el material posteriormente.

A pesar de ser ya una materia prima convencional, no se han establecido normas científicas sobre las mejores condiciones de producción ni de control para cada yacimiento específico; aún más, no se ha determinado que tipo de minerales puede ser más conveniente para procesar en una planta siderúrgica particular, trayendo como consecuencia una pérdida de eficiencia y producción de las mismas.

El trabajo presente representa una aproximación de estudio sobre los métodos que se utilizan para controlar las características y propiedades finales de dichos pelets, haciendo un análisis de la validez y limitaciones de cada uno de ellos.

PELETIZACION DE MINERALES DE HIERRO EN MEXICO

PLANTA	PRODUCCION ANUAL (Ton.)	DISEÑO	TIPO	CARACTERISTICAS DE LA PELETIZA- CION.	PUESTA EN MARCHA	MINERAL TRATADO	AGLOMERAN- TE EMPLEA- DO.	OBSERVACIONES
HOJALATA Y LAMINA La Alzada	1,500,000	Lurgi- Dravo	Parrilla recta	4 discos; 6m. diá- metro.	1970	-Magnetita -Magnetita y hematita	Bentonita	
A.H.M.S.A. Planta Constitución	600,000	Mc.Kee	Parrilla circular	2 discos; 5.5m. diámetro	1974	-Hematita y Magnetita	Bentonita; posterior- mente se usara cal hidratada	En 1978 se ampliará a 900 000 Ton/año
CONSORCIO MINERO BENI TO JUAREZ PEÑA COLO- RADA S.A. Manzanillo, Colima (Planta 1)	1,500,000	Lurgi- Dravo	Parrilla recta	3 discos; 7.5 m. diámetro	1974	Magnetita	Bentonita	
FUNDIDORA MONTERREY Monterrey	1,500,000	Allis- Chalmers	Parrilla horno ro- tatorio	3 tambores; 36' largo x 12 diá- metro.	1976	Magnetita y hemalita	Cal y menos de 1% de bentonita	Pelets auto- fundentes
SICARTSA Las Truchas	1,800,000	Lurgi- Dravo	Parrilla recta.	3 discos; 7.5m. diámetro.	1976	Magnetita	cal hidra- tada.	
BENITO JUAREZ PEÑA COLORADA Manzanillo	2,500,000	Lurgi- Dravo	Parrilla recta		1978	Magnetita	Bentonita	

TABLA 1 (Ver tablas anexas al final).

I.- PROCESO DE PELETIZACION

I.1. Antecedentes

El proceso de peletización es relativamente nuevo, habiendo tenido algunos precursores. A.G. Anderson en 1911 patentó un proceso de tolva giratoria para elaborar bolas que posteriormente fueron cocidas para endurecerlas. Después de veinte años se construyó en Rheunhausen, Alemania una planta piloto tratando un proceso similar patentado por C.A. Brackelsberg; dicha planta fue construida en Moose Mountain en Ontario, habiéndose desarrollado antes en Europa en 1913 el proceso de briquetización Grondal que emplea concentrados finos de magnetita, que también se calientan en una atmosfera oxidante para endurecerlos.

A principios de la década de los 40's C. V. Firth, E. W. Davis y sus asociados de la Estación Experimental de Minas de la Universidad de Minnesota, tuvieron la idea de cocer las bolas de concentrados húmedos en un horno de pozo. Simultáneamente el Dr. S.R.B. Cooke desarrolla el concepto de crecimiento de grano. A partir de estos trabajos, un sinnúmero de investigadores desarrollaron aparatos especiales para boleado de concentrados finos y también una variedad de aparatos para cocer esas bolas verdes y hacer pelets endurecidos con calor.

En México el proceso de reducción directa se creó a

principios de la década de los 40's y a partir de entonces fue desarrollandose, instalando el primer horno eléctrico en 1945, y en 1948 un horno con capacidad adicional; ante la problemática que se presentó en aquella época y el aumento en el precio de la materia prima se desarrolló una forma de fabricación de acero, habiendo analizado algunos métodos para producir hierro esponja, se decidió desarrollar un proceso propio para los recursos de que se disponía y necesidades; así que para fines de 1955 la operación de una planta piloto construida, tuvo resultados satisfactorios y en Noviembre de 1957, la primera planta comercial comenzó a operar produciendo 220 Tons. diarias y para 1960 se terminó la construcción de una segunda planta más grande la cual producía 550 Tons. diarias.

En 1965 una planta procesando mineral del Encino, produce 550 Tons. diarias de hierro total; durante ése año en Monterrey se realizaron algunas pruebas en los reactores de esas plantas con pelets de Eagle Mountain de California y Marcona de Perú, experimentándose difinitivos mejoramientos en la operación del proceso de reducción directa. Se ha venido peletizando el mineral del Encino, para lo cual se hacen pruebas necesarias a los minerales existentes, y se envían a los laboratorios Furgi en Alemania; dicha firma conjuntamente con la compañía mexicana, comienza la construcción de una planta peletizadora a principios de 1968 y a principios de 1970 (16 de Febrero) se produjeron los primeros pelets en México.

El uso de procesos de peletización para la aglomeración de concentrados finos de mineral de hierro está ahora bien establecido.

1.2. Ventajas de la Peletización sobre otros procesos de aglomeración.

Los procesos de peletización son de gran importancia debido al aprovechamiento de los finos de los minerales que como tales no pueden ser procesados en el alto horno; también es de mucha importancia el ahorro de combustible en la fusión en los altos hornos y en la reducción en los procesos de preredución al emplear pelets en la carga. Como el peletizado incluye concentración del mineral, la mayoría de la ganga se desecha disminuyendo entonces el combustible que se utilizaría para fundirlos.

Existe también un incremento en la producción al emplear pelets por las siguientes razones: a) debido a la uniformidad de tamaño del material, el horno trabaja de una mejor manera pues el calor se distribuye en forma homogénea; como la reducibilidad o capacidad del material de liberar oxígeno del pelet debe ser buena, los gases reductores facilitan su trabajo en los procesos de reducción directa, y en el caso de fusión, como al pelet se le añade un aglomerante éste va a facilitar dicha operación; además como al material se le provee de una dureza adecuada,

se evita la formación de finos, lo cual es una gran ventaja en el procesado del material. Durante la peletización todo el material se convierte en hematita, la cual es más fácil de reducir debido a su constitución molecular.

Los procesos de sinterización de minerales de hierro presentan la limitación de ser aplicables solamente a partículas de mineral cuyo tamaño sea mayor a 0.147 mm. de diámetro medio, lo cual es una gran desventaja pues representa grandes pérdidas en la producción de partículas finas, menores de 0.074 mm, las cuales causan problemas de importancia en ese proceso. Por otra parte este proceso es aplicable solamente a minerales con una ley relativamente alta, lo cual representa una desventaja más, aparte de la heterogeneidad en el producto terminado.

Otro proceso menos usual por el monto del equipo es el briquetizado, el cual da un producto en forma de "tabletas" producidas en moldes. Este representa un inconveniente además de que se logra una compactación menor que en el peletizado con un equipo más complicado.

Es por tales razones que el proceso de peletización tiene más importancia sobre otros procesos de aglomeración y que cada vez adquiere más aún.

1.3. Descripción del Proceso de Peletización.

Se llama peletización al proceso de preparación del mineral, cuya finalidad es aglomerar materiales crudos y finos para formar un producto de forma muy semejante a una esfera, denominado Pelet; dicho pelet, dependiendo del proceso a que posteriormente deba ser sometido, tendrá diferentes propiedades tanto físicas como químicas. El proceso de peletización se divide en dos operaciones principales: 1) peletizado o etapa que vá desde la molienda del mineral hasta la formación de un pelet o verde; y, 2) endurecimiento, constituido por secado, cocimiento y enfriamiento.

La calidad del pelet, en un principio va a depender de la uniformidad y tamaño adecuado para facilitar la unión de las partículas; por otro lado es importante que el grado de humedad sea el correcto pues éste proporciona consistencia a la aglomeración inicial. El comportamiento del mineral a altas temperaturas y la resistencia deseada para el pelet final, son los dos factores principales que determinan la dureza.

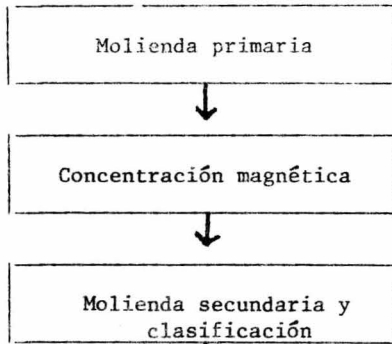
La primera parte en el proceso de peletización la constituyen la Molienda y concentración. El material se somete a una molienda primaria que generalmente es en un molino de barras, en húmedo, la carga es de aproximadamente 20% en peso de agua y 80% de sólidos; el material final es de ± 1 mm. Después pasa

a los concentradores magnéticos o a la molienda secundaria dependiendo del magnetismo del mineral; en la sección de concentración, la pulpa lleva ahora una proporción de 40% de sólidos y 60% de agua; es aquí donde se purifica parcialmente de fósforo, azufre y Sílice; de aquí el material magnético concentrado pasa a la molienda secundaria, la cual se lleva a cabo en molino de bolas generalmente. En esta sección se lleva un estricto control del grado de molienda. Según algunas pruebas se ha concluido que la superficie específica óptima del material es de $1850 \text{ cm}^2/\text{g} \pm 200 \text{ cm}^2/\text{g}$ y el tamaño de grano equivale aproximadamente a -325 mallas para un 65-80% del material. Algunos procesos cuentan con una segunda etapa de concentración para enriquecer más aún el mineral.

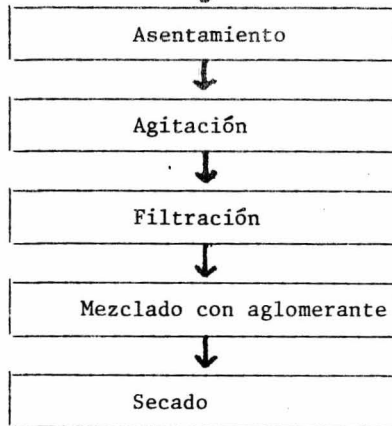
De ahí el material con la finura determinada, ha de eliminar agua en un tanque de asentamiento para obtener una densidad aproximada de 65% de sólidos y luego pasa a un tanque agitador que mantiene en suspensión al mineral para después pasarlo a las unidades de filtrado de donde posteriormente se le añade el cementante; aunque en algunos casos no se añade ningún aditivo debido a la producción se agrega un poco (aprox. 1.0%), los aditivos tienen la propiedad de dar al pelet verde fuerza para resistir la compresión cuando éste es secado y disminuye el agrietamiento superficial en algunos pelets que pueden producirse debido al choque térmico. Los principales aglomerantes empleados son los siguientes:

DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN PROCESO PARA LA FORMACION DE PELETS VERDES

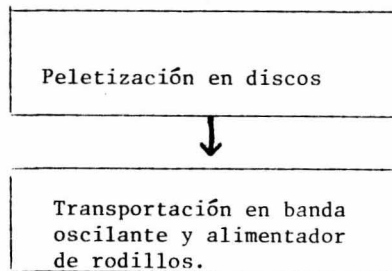
A) MOLINDEA Y CONCENTRACION



B) ESPESAMIENTO Y FILTRADO



C) FORMACION DE PELETS VERDES



- a) Sales solubles
- b) Bentonita
- c) Productos químicos inorgánicos (Ca(OH)_2)
- d) Materiales orgánicos

La mayoría de las sales solubles no proporcionan fuerza alguna al pelet verde, pero durante la evaporación, las sales recristalizan y dan una unión sólida que proporciona dureza en seco. En algunos lugares se emplean sal común de más, la cual contiene cloruro de sodio principalmente, cloruro de calcio y sulfato ferroso; principalmente porque su costo es menor que la bentonita, a excepción de calcio, los análisis son generalmente nocivos para los revestimientos de los hornos; además los gases que se producen a partir de sales de cloro son algo corrosivos.

El aditivo más común es la bentonita y la cantidad empleada va del 0.5 al 1.0% en peso, la cual proporciona cierta fuerza al pelet verde por el incremento de la viscosidad y tensión superficial del agua ayudando a la compactación de las bolas. La fuerza en seco también se aumenta con una mejor compactación; sin embargo la bentonita incrementa levemente el contenido de sílice en los pelets.

Para ilustrar el efecto de la bentonita en las propiedades del pelet se da la siguiente tabla:

Bola de magnetita (menos de 1.27cm. mayor de 1.11cm. de diámetro).

Aglomerante	Resistencia (Núm. de caídas).	Compresión del material verde (Kg.)	Compresión del material en seco (Kg.)
Bentonita 0.6%	10	1.5876	4.67208
Sin Bentonita	4	1.1793	0.54432

El secado se efectúa en algunos casos en hornos de tipo rotatorio con la finalidad de reducir la humedad del material a un 8 o 9% que es la óptima para poder obtener un buen pelet verde.

I.4. Características del Pelet Verde e importancia de las variables que toman parte en su formación.

En estas condiciones el material es llevado a la unidad de boleado donde se producirán los pelets verdes, los cuales para poder dar lugar a un pelet de buena calidad, deben tener las siguientes características:

- a) Tamaño adecuado
- b) Uniformidad de Tamaño
- c) Resistencia mecánica y resiliencia o habilidad para almacenar energía de deformación elástica y se mide en términos de energía/unidad de volumen.
- d) Resistencia al Choque Térmico.

En un principio se produjéron pelets de aproximadamente una pulgada de diámetro, pero conforme se hubieron efectuado pruebas se observó que eran mejores pelets de menor tamaño.

La producción de finos causa muchos perjuicios tanto en el equipo que emplea pelets terminados como en el proceso de endurecimiento de los pelets verdes, pues evitan la permeabilidad cuando entran en el interior del horno o en la parrilla, provocando una lata caída de presión, desiguando la distribución de calor y obteniendo por lo tanto un producto de inferior calidad. El producto peletizado es muy bien cribado antes de embarcarse; algunas briznas que se forman se regresan junto con los polvos que a lo largo del proceso se han producido; ambos son espesados y vueltos a filtrar, esto representa de un 3 a un 5% de la alimentación original, lo cual reduce la producción del horno de pelets e incrementa el costo de producción de peletización.

El pelet verde debe tener ciertas características y propiedades mecánicas para poder resistir el manejo desde que éste ha sido formado hasta que se lleva al equipo de endurecimiento; en resúmen el pelet en éstas condiciones debe tener una determinada resistencia en general; debe ser resilente y tener una cierta resistencia mínima a la compresión, la cual es necesaria cuando las bolas se transportan de un lugar a otro sin que se rompan o sufran serias deformaciones la resistencia a la compresión se requiere para que éstas no se rompan cuando se carguen al ser sometidas a endurecimiento, pero sobre todo la resiliencia es la que importa en esta última etapa.

La forma usual para medir la resistencia es haciendo una prueba que consiste en dejar caer libremente la bola desde una altura determinada, que en algunos casos es de 18 in (45.72 cm.), sobre una plancha de acero y repetir la operación hasta que la bola se rompa. Se dice que un promedio bueno es de seis caídas pero no se desea que ese número de caídas sea mayor de 12 porque puede ser demasiado plástica al cocimiento; esto puede ser causado ya sea por una gran área específica del concentrado o bien por un alto porcentaje de humedad.

La resistencia del material verde se mide haciendo una prueba a la compresión; para pelets cuyo diámetro oscile entre 1.109 y 1.27 cm. se considera aceptable una resistencia de 1.359 Kg. por lo menos.

Otras características que debe tener el pelet verde son las necesarias para resistir un calentamiento a partir de una temperatura relativamente fría debida al grado de humedad que tiene, esa temperatura alta es la que le dará la dureza definitiva y el pelet verde deberá resistir el choque térmico sin sufrir exfoliación o desintegración; * es conveniente hacer notar que para éste efecto se emplean los aditivos ya que hasta el punto en que se ha hecho el pelet verde, el pelet que contiene aditivo tiene una resistencia a la compresión de 1.812 Kg. y un

* La resistencia al choque térmico es función de la resistencia a la compresión.

pelet semejante pero sin aditivo tiene una resistencia tan sólo de 0.453 g. aproximadamente por tal razón, a partir de la etapa de secado y hasta el endurecimiento final, la desintegración de pelets sin aditivos es mucho muy grande.

Otra utilidad muy importante del aditivo, es la de dar al pelet verde la resistencia a un calentamiento brusco sin rom

imiento o formación de polvos, pues a partir de una temperatura cercana a la ambiente, llega hasta aproximadamente 1090°C en un tiempo de diez minutos y en ocasiones menor, además de que frecuentemente existe gran diferencia de temperatura aún en el mismo pelet durante el cocimiento de éste dentro del horno de en

durecimiento.

Existen en general dos fases que intervienen en la formación de la bola; dichas fases son: a) formación del núcleo, y b) crecimiento del núcleo hasta el tamaño deseado. La formación del núcleo se lleva a cabo cuando la fuerza de atracción entre partículas cubiertas por una película de agua es suficiente para unirse con otras. Las partículas mojadas se juntan y sus pelícu

las de agua se reúnen debido a la tensión superficial.

Una gran fuerza puede adquirir la bola al rodar el material fino húmedo lentamente es un tambor para boleado o en general en cualquier aparato similar que produzca una fuerza centrífuga y permita que el material ruede. Al rodar, el peso de la

bola descansa en pocas partículas relativamente a un tiempo, lo cual permite el reacomodo de las partículas para dar una buena compactación. Se ha demostrado que esta acción produce una mejor compactación que la que se produce en el briquetizado que emplea $140\ 620\ \text{Kg/cm}^2$ de presión en el prensado.

Se dice que la facilidad con que se lleva a cabo el boleo, está relacionada con el número de puntos de contacto o superficie específica y se ha calculado que la fuerza aplicada a una sola partícula en contacto algunas veces llega a $70\ 310\ \text{Kg/cm}^2$. También se ha demostrado que es más importante la tensión superficial de la humedad en los intersticios, ya que actúa como fuerza compresora y es inversamente proporcional al diámetro medio del poro.

En resumen, los factores que influyen la resistencia de un pelet verde, son tamaño y distribución de las partículas, contenido de humedad y efectividad del aglomerante añadido.

La importancia del tamaño de las partículas en la formación de las bolas es el factor más determinante. Según investigaciones, las medidas de área específica son una mejor guía que los análisis de cribas para predeterminar la calidad del pelet. Por lo que respecta al efecto de finos coloidales (menores de $5\ \mu$), al aumentar bola. Al incrementar la superficie específica, se incrementa también la resistencia a la compresión del pelet verde.

la plasticidad y la resistencia a la compresión al cocerse.

El contenido de humedad también es de gran importancia en el boleado, cuando este varía, el pelet verde formado sufre alteraciones tanto en el tamaño como en la calidad; el contenido óptimo de humedad depende del tamaño del concentrado que se este tratando. Para un concentrado relativamente grueso con un 65% a -325 mallas, la humedad óptima es de 8.5%; en cambio para un concentrado fino con el 95% a -325 mallas, la humedad deseable es de 11%; las variaciones tolerables en este aspecto son de 0.2%

Se puede decir que los pelets endurecidos de mejor calidad, son aquellos hechos con material relativamente seco; ya que la deformación que sufren es menor, son más densas, y al ser cocidas por lo tanto adquieren una compresión superior y resistencia durante el manejo.

I.5. Equipos empleados en la formación de pelets.

En general para la formación de pelets, existen tres tipos de equipo y son:

- a) Tambor peletizador (Fig.1)
- b) Cono peletizador (Fig.2)
- c) Disco peletizador. (Fig.3)

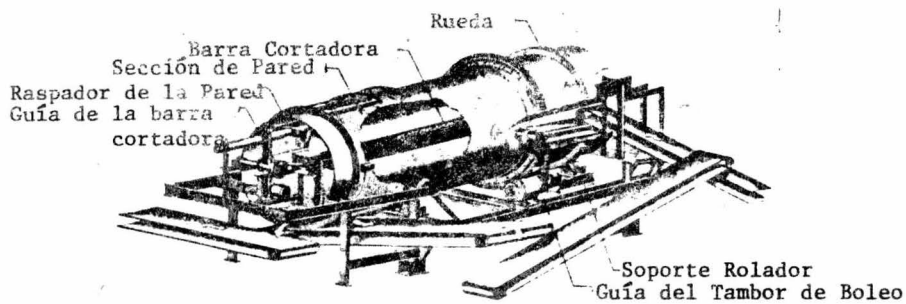


FIGURA 1.- TAMBOR DE BOLEO

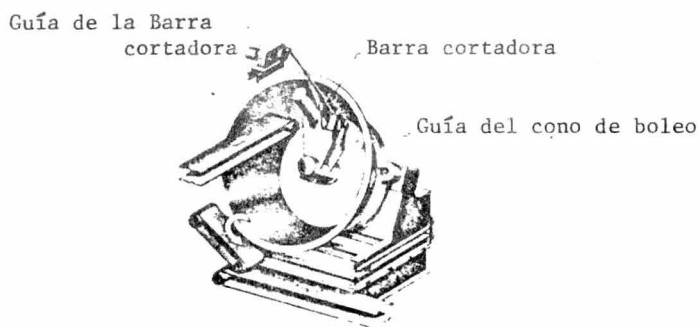


FIGURA 2.- CONO DE BOLEO

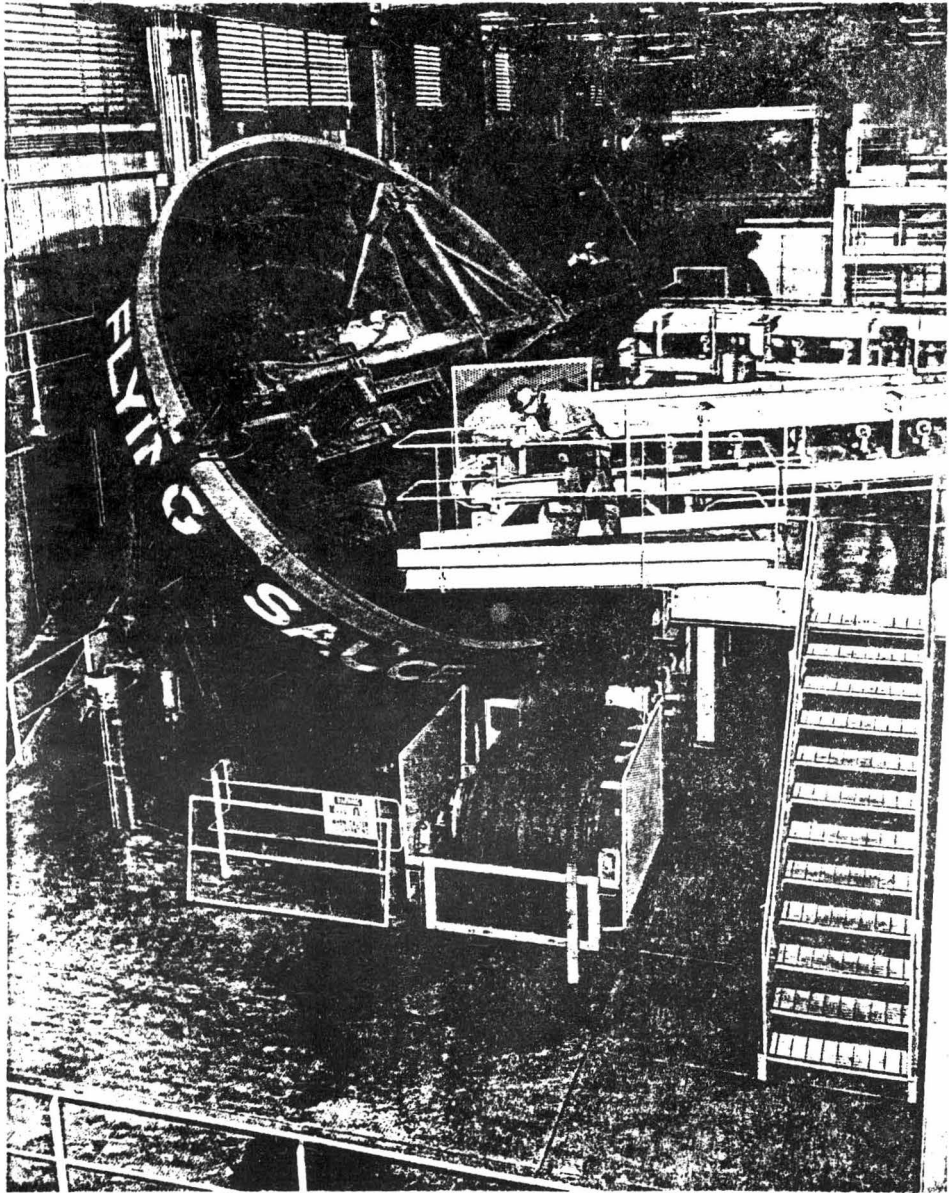


FIGURA 3 .- DISCO PELETIZADOR

Originalmente la elaboración de pelets verdes se efectuaba en tambores y actualmente se continúa usando, dicho aparato consiste en un tambor cilíndrico colocado sobre rodadores los cuales proporcionan una velocidad periférica de aproximadamente 1.40 m/seg. El tambor está inclinado de 1.27 a 5 cm. por cada 30.5 cm. de longitud hacia el extremo de descarga. Normalmente está revestido con concreto o una malla metálica expandida en la cual una capa de concentrados forma un grueso de aproximadamente 1.27 cm. El aparato está provisto de barras cortadoras colocadas recíprocamente con dientes cortadores relativamente angostos y operando a 50 paladas por minuto mantiene el contorno del revestimiento. En el tambor se producen bolas grandes cuando se incrementa la humedad del material de carga, por el contrario, al aumentar la inclinación del tambor, la tendencia es producir bolas más pequeñas. El tambor de peletización está equipado con un clasificador de tamaño mínimo de pelets verdes formados, las bolas con tamaño menor son recirculadas e introducidas con la nueva carga, la carga de circulación varía de 50 a 100%. La desventaja que tiene este equipo (que consta del tambor, clasificador y equipo auxiliar de transportación), es que ocupa un mayor espacio que un disco o un cono peletizador. Sin embargo, un tambor de 2.74 m. de diámetro tiene el doble de la capacidad de un cono peletizador de 4.26 m. Debido a la gran cantidad de material que opera el sistema de tambor y al aparato clasificador, se tiende a producir un producto de tamaño más uniforme y por lo tanto habrá menos variaciones en la humedad y el

tamaño en la alimentación posterior.

El cono peletizador consiste en un cono abierto en uno de sus extremos, el cono está soportado en un eje rotatorio y con una inclinación variable. El revestimiento es muy similar al del tambor; provisto con barras cortadoras dispuestas recíprocamente en un lado y otro fija en el extremo cerrado. Se alimenta en un lugar cercano al centro donde las bolas son formadas y hay una segregación natural de tamaños. Conforme van creciendo las bolas, estas tienden a ir hacia la ceja de descarga. Este equipo tiene la gran ventaja de no requerir un clasificador, pues el material permanece en el aparato sólo hasta que ha obtenido el tamaño deseado, el cual se obtiene por el contenido de humedad y la inclinación del cono. La humedad del material en este equipo va de 0.2% a 0.5%; se tiene la desventaja de que la calidad y el tamaño pueden variar debido a la pequeña cantidad de material que se procesa y al corto tiempo de residencia.

Las características generales del cono son las siguientes: 4.26 m. de diámetro en el extremo abierto, velocidad normal de operación de 12 a 16 r.p.m. El ángulo del cono es de 48° y generalmente se opera a una inclinación de 2.54 cm. por cada 30.48 cm. hacia la zona de descarga.

Otro método para la fabricación de pelets verdes es el disco peletizador, que es un plato de fondo plano, rotatorio y

y que va inclinado a un ángulo de 45 a 55° con la horizontal. Los núcleos que darán lugar a los pelets verdes, formados en el fondo del disco, son llevados repetidamente hacia la parte alta y luego rodando van a la parte baja reuniendo nuevo material. Las bolas mas grandes se segregan hacia el borde del disco y son descargadas. El tamaño se controla por la inclinación del disco, altura del borde, velocidad de alimentación y en menor grado por la velocidad del disco y la cantidad de agua empleada. Para aumentar la densidad de las bolas, producir cierta tersura o para darles algún recubrimiento con algún otro material, se coloca al disco una ceja adicional que aumenta el tiempo de rolado. El disco peletizador al igual que el cono, son más sensibles a las variaciones en las características del material de carga que el tambor.

Antes de pasar a la etapa de endurecimiento, el pelet es clasificado de manera más estricta y el material que no sea peletizable, se retorna y se vuelve a alimentarse al equipo de boleó.

El crecimiento de grano y la adhesión de los concentrados de magnetita, acompañan la oxidación a hemetita. Se forman los bordes de grano, se alargan las partículas y se efectúa la recristalización. A temperaturas altas, puede formarse escoria, la cual refuerza la red de los óxidos como se muestra en las figuras, las cuales fueron tomados a 450 aumentos.

En la figura 4 se muestra la estructura de una bola seca de magnetita, la cual aparece en formas angulares de blanco y las partes grises corresponden al cuarzo, los espacios vacíos aparecen negros.

La figura 5 representa un pelet después de cocido a 912°C , las partículas finas se han oxidado a hematita (blancas) y alargadas algunas, que muestran la oxidación a lo largo de líneas cristalográficas; la magnetita aparece gris y los huecos en negro.

La figura 6 es un pelet de magnetita después de cocido a 1078°C , se ha completado la oxidación; la hematita en blanco muestra una gran aglomeración. Las orillas de las partículas grandes se han redondeado, los espacios vacíos aparecen en negro.

La figura 7 es un pelet de magnetita después de haberse cocido a 1300°C , la hematita de blanco, ha sido completamente adherida y recristalizada; entre los granos puede observarse algo de escoria. Los espacios vacíos pueden observarse de gris oscuro.

La recristalización térmica acompañada por la difusión del estado sólido de superficie, se ha determinado como el mecanismo de consolidación de concentrados de hematita. Mientras no haya reacción exotérmica y altas temperaturas requeridas para la

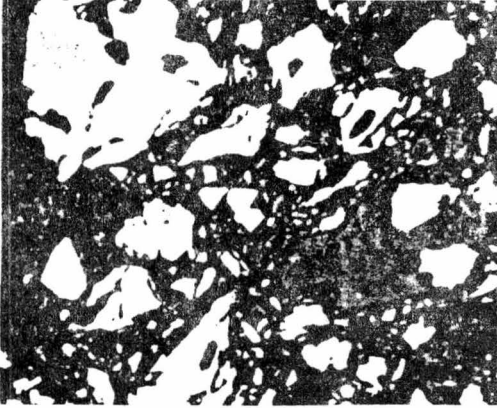


FIGURA 4. Bola seca de magnetita fina (1).

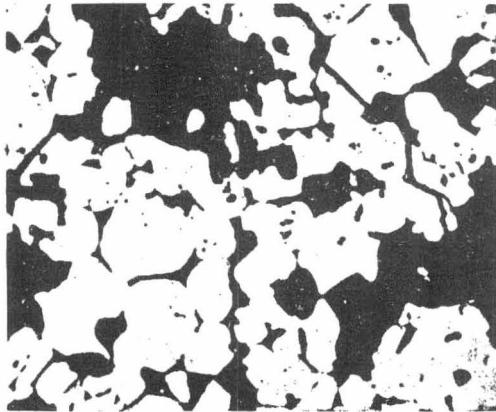
FIGURA 5. Pelet de magnetita después de cocido a 912°C.





FIGURA 6. Pelet de magnetita después de cocido a 1078°C.

FIGURA 7. Pelet de magnetita después de cocido a 1300°C.

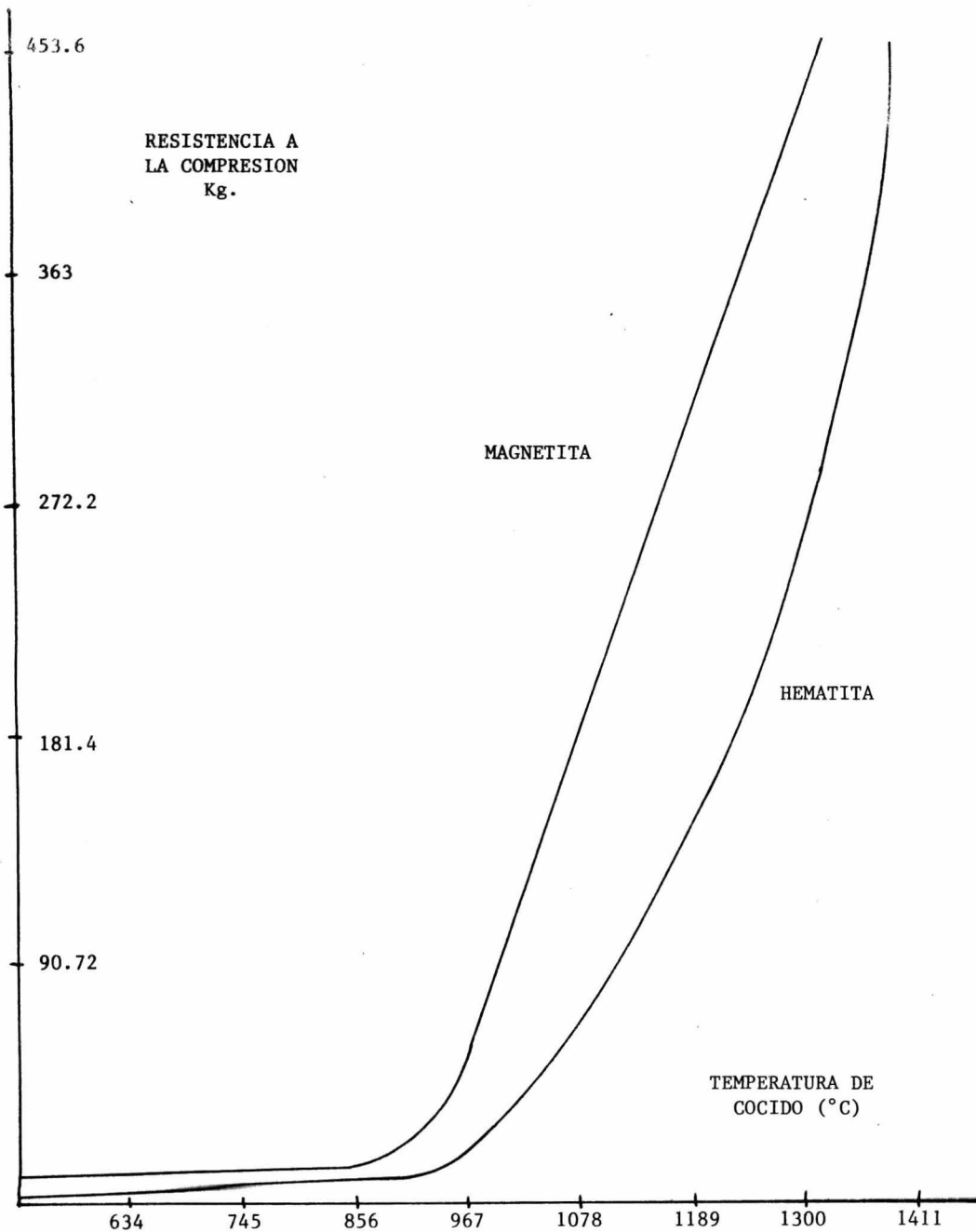


recristalización, la resistencia del pelet no se desarrolla tan rápido como con la magnetita. La temperatura de cocimiento para la hematita es aproximadamente 23.5°C mayor que la de la magnetita.

En la siguiente gráfica se muestra la resistencia a la compresión de pelets de hematita y magnetita a diferentes temperaturas. (Ver figura 1)

DIFERENCIA DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION DE PELETS DE MAGNETITA

Y HEMATITA A DIFERENTES TEMPERATURAS DE COCIDO



GRAFICA 1

Los minerales rojos son hematitas ferrosas, con frecuencia se combinan con cantidades variables de g \ddot{o} ethita y a veces arcilla; se adhieren m \acute{a} s r \acute{a} pido a la hematita debido a la forma y extrema finura de los granos. Sin embargo, debido a la superficie espec \acute{i} fica alta y al tambi \acute{e} n alto contenido de humedad los hace muy susceptibles a la degradaci \acute{o} n por choque t \acute{e} rmino; por lo tanto es recomendable efectuar a temperaturas bajas y lentamente el secado de los pelets verdes.

Al a \acute{n} adir al concentrado caliza o dolomita, se forman ferritas de calcio y de magnesio los cuales ligan bien con la magnetita y la hematita para ayudar a desarrollar la cohesi \acute{o} n de la red.

Ya que la caliza y magnesia reducen la temperatura de escoriificaci \acute{o} n de la s \acute{i} lice, se usan temperaturas en el horno m \acute{a} s bajas con fundentes que con pelets \acute{a} cidos. Una temperatura alta, provoca el debilitamiento del pelet, como la escoria promueve el crecimiento de grano, hasta el punto donde se forman peque \acute{n} os cristales y la cohesi \acute{o} n solamente depende de la escoria quebradiza.

Los principales factores en la cohesi \acute{o} n son los siguientes:

La oxidaci \acute{o} n de la magnetita a hematita es afectada por la permeabilidad del lecho de pelets, por el tama \acute{n} o individual

del pelet y por la permeabilidad del mismo pelet. La disponibilidad de oxígeno para el pelet, depende de la cantidad de oxígeno en los gases de calentamiento y de la habilidad de estos para alcanzar el pelet. Cualquier factor que pueda reducir la permeabilidad del lecho o cause canalización de los gases, afecta la oxidación del pelet. Un calentamiento muy rápido permite la transformación de calor al núcleo del pelet antes que la difusión del oxígeno. Una velocidad demasiado lenta también retarda la oxidación en el núcleo por el desarrollo de una cohesión prematura en la periferia y ésta reduce la permeabilidad del pelet. En cualquiera de los casos hay una contracción del núcleo y la estructura general del pelet se ve debilitada. El uso de carbón como combustible interno, crea una situación similar por una baja concentración de oxígeno en el interior, resultando un alto contenido de FeO en el centro del pelet.

I.6. Hornos para endurecimiento de pelets verdes.

Los primeros hornos para endurecimiento de pelets y que en la actualidad son muy usados, son los hornos de cuba^{*}, empleados para aglomerar concentrados de magnetita; de este tipo de hornos, hay variaciones en el diseño, de las cuales, el Erie^{**} es uno de los tipos más comunes. En este horno, el calor es suministrado con un sistema para quemar gas natural o aceite en dos cámaras de combustión que el horno posee. La temperatura de los gases de combustión a la salida de la cámara, llega en ocasiones a 1272°C; éstos gases entran a la cuba a través de una serie de

* Figura 8

**Figura 9

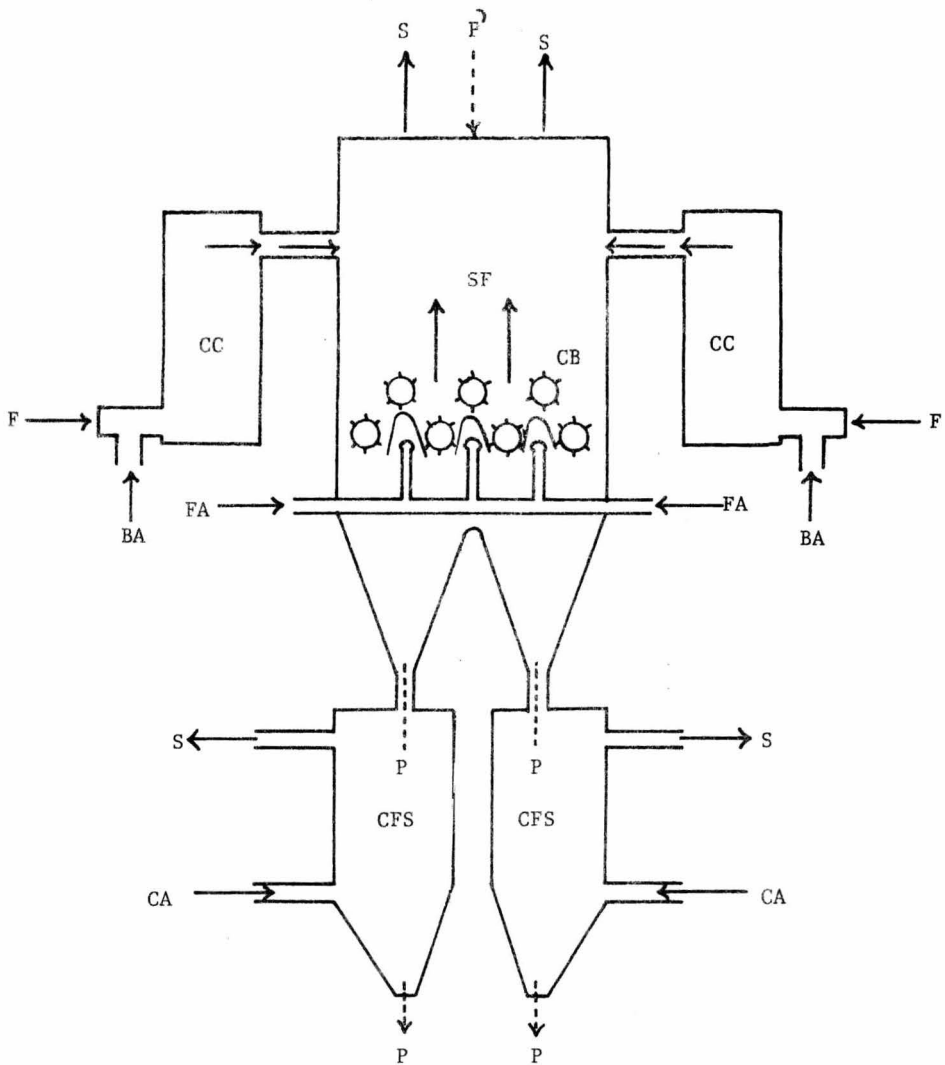


FIGURA 8.-Horno Vertical o de Cuba

SF = Horno Vertical
 F = Combustible
 BA = Aire para quemadores
 CC = Cámara de combustión
 S = Escape de chimenea
 P = Pelets Verdes
 CB = Quebradores
 FA = Aire (enfriamiento)
 P = Pelets
 CFC= Enfriador
 CA = Aire para enfriador

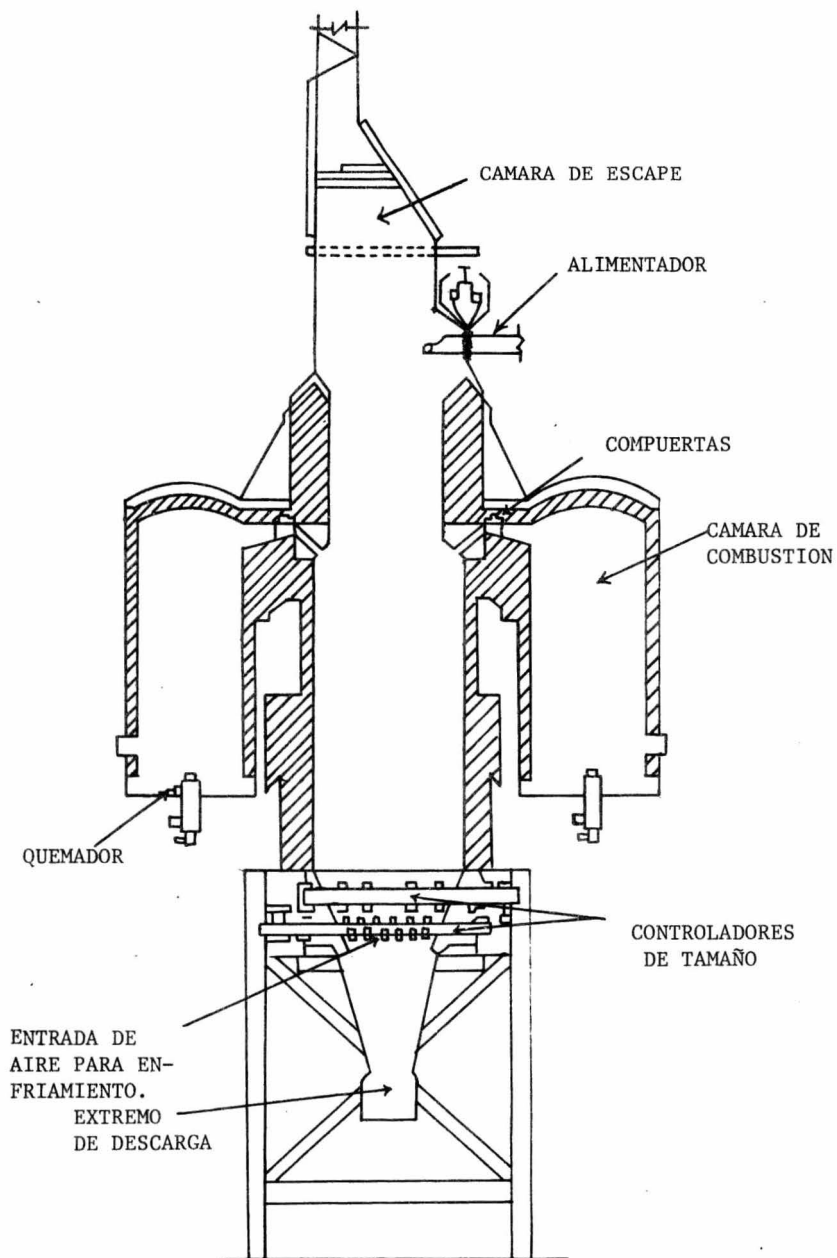


FIGURA 9.-Horno de Cuba Tipo ERIE

orificios alrededor de las paredes. Según balances, se requiere 1Kg. de aire aprox. por cada Kg. de pelet. Para conseguir una uniformidad completa de la temperatura de los gases dentro de la cuba, estos hornos han sido altamente automatizados.

Estos hornos tienen una eficiencia calorífica relativamente alta, pues los gases ascendentes quitan mucho calor de los pelets calientes que descienden e imparten este calor al material que va entrando. Cuando los pelets abandonan el horno, llevan una temperatura de 190 a 300°C.

Otro tipo de horno empleado en la peletización es el de tipo Bethlehem,* que es una variación de los hornos de cuba, este horno tiene una cuba más reducida, lo cual permite una buena distribución del aire en la parte baja del horno. Los pelets provenientes de la cuba, salen entre 410 y 523°C y pasan a un enfriado que forma parte del equipo, ahí por medio de aire a presión se reduce la temperatura a 79 - 135°C. En general el horno es más complejo y requiere 10% más de potencia. Se puede lograr una economía calentando el aire necesario para la combustión, además es posible descargar a temperaturas menores el pelet.

Un equipo muy empleado es la máquina u horno de parrillá,** ésta pasa con los pelets por un túnel donde se encuentran las cámaras de endurecimiento en las cuales se suministra el calor por medio de ductos, ventiladores y extractores, los gases son circulados hacia las diferentes zonas de reacción; el piso son

* Figura 10

** Figura 11

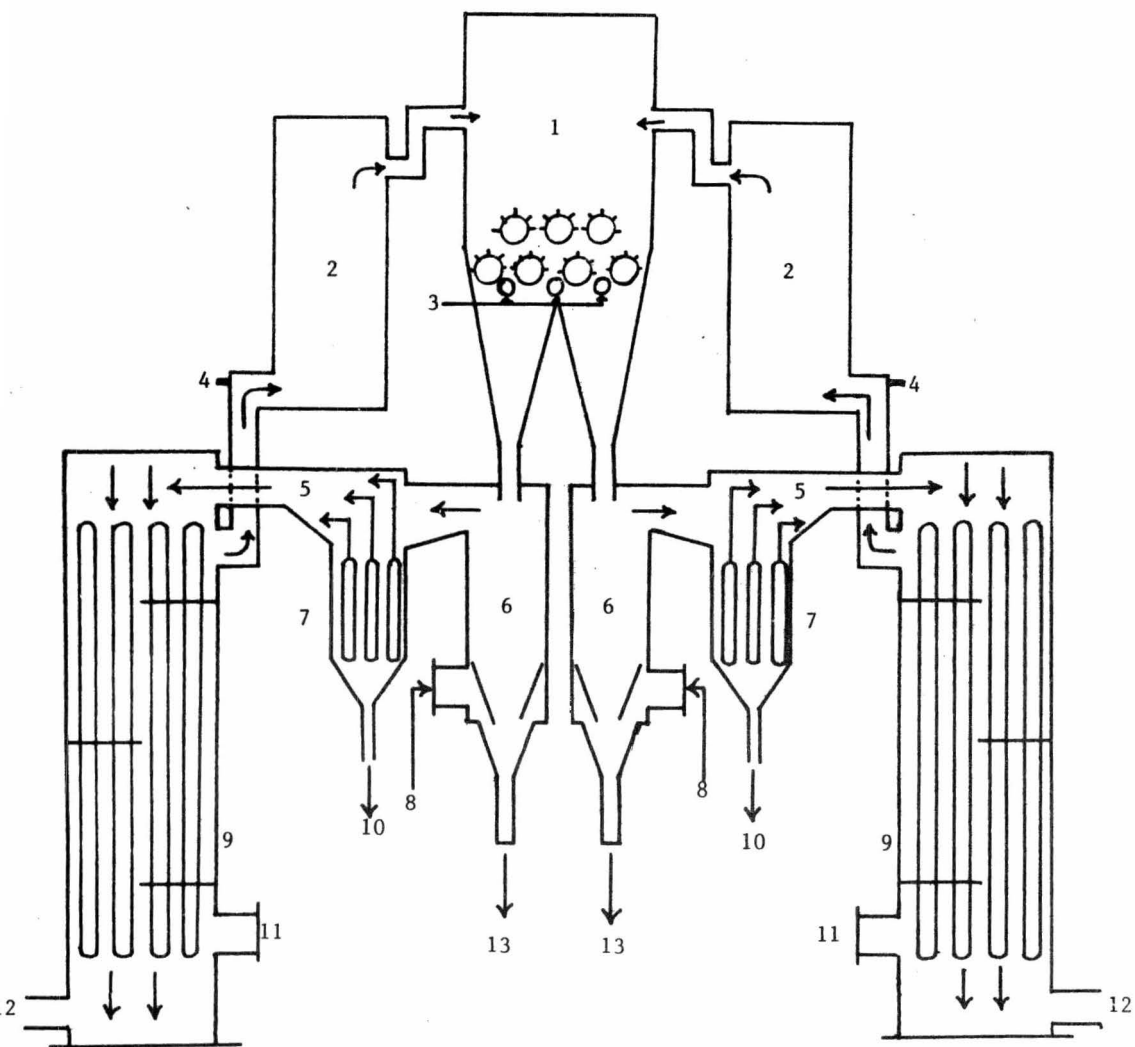


FIGURA 10.-Horno de Cuba Tipo Bethlehem

ACOTACIONES DEL HORNO TIPO BETHLEHEM

- 1.- Horno
- 2.- Cámara de combustible
- 3.- Aire
- 4.- Combustible
- 5.- Enfriador de aire
- 6.- Enfriador
- 7.- Ciclón colector de polvos
- 8.- Aire frío
- 9.- Cambiador de calor
- 10.- Polvos
- 11.- Aire-Cámara de Combustión
- 12.- A la chimenea
- 13.- Pelets

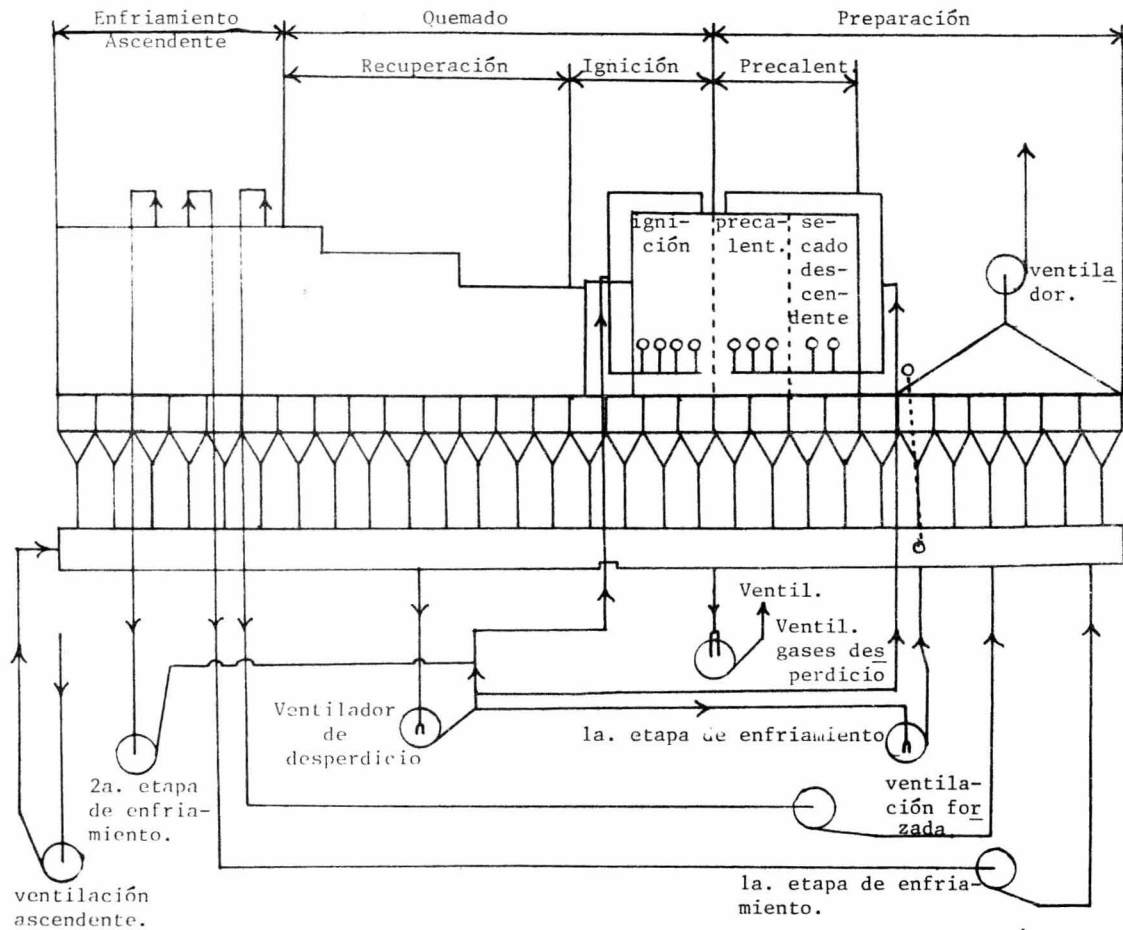


FIGURA 11.- Peletizadora de Parrilla

parrilas formadas con hornos separados aproximadamente 6.35 mm. entre sí, por ahí deben pasar los gases hacia la cama de pelets que tendrá una muy buena permeabilidad, las zonas de reacción que se localizan en este proceso son seis:

1.- Zona de secado ascendente, en la cual se hace pasar aire caliente de abajo hacia arriba con objeto de que no sean deformadas las bolas.

2.- Zona de secado descendente; es una continuación de lo anterior, aquí se hace pasar aire caliente que elimina la humedad, teniendo una temperatura menor de 300°C.

3.- Zona de precalentamiento; se hace pasar una corriente de gases hacia abajo entre 600 y 900°C, provocando un aumento en la resistencia del pelet, en esta zona se inicia una desulfurización cuando el contenido de azufre en el mineral es muy grande.

4.- Zona de cocimiento; se hacen pasar los gases en forma descendente a una temperatura que oscila entre 1250 y 1330°C, al convertirse la magnetita a hematita, se lleva a cabo un crecimiento en los cristales lo que provoca un mayor endurecimiento.

5.- Primera zona de enfriamiento.- Se hace pasar aire de abajo hacia arriba de igual forma que en la siguiente.

6.- Segunda zona de enfriamiento.- En la cual el aire que se hace circular a temperatura ambiente en forma ascendente dan al pelet una temperatura aproximada de 100°C; de aquí el pelet debe tener la suficiente resistencia para soportar el posterior manejo a que será sometido, así mismo debe cumplir con las propiedades características y necesarias para tal efecto.

Otro tipo de horno para este efecto es el de parrilla circular* el cual cuenta básicamente de cinco zonas principales, que son zona de secado, zona de precalentamiento, zona de ignición, zona de post-quemado y zonas de enfriamiento. El pelet verde se alimenta en la parrilla que gira a una velocidad de 2 rpm. Al igual que en el proceso de parrilla recta, se aprovecha el calor del aire empleado a través de las zonas finales. La disposición de los trece quemadores de que vienen provistos este tipo de hornos a lo largo de las zonas de precalentamiento e ignición es la siguiente; en la parte externa de la pared del horno se encuentran siete, mientras que en la interna seis, el combustible empleado es una mezcla de vapor y combustóleo en forma atomizada. La producción aproximada que se logra en este tipo de hornos es de 76 ton./h.

1.7. Conclusiones.

Por lo que respecta a los equipos para la formación de bolas (boleo), se tiene el de Tambor que es el más antiguo y

* Figura 12

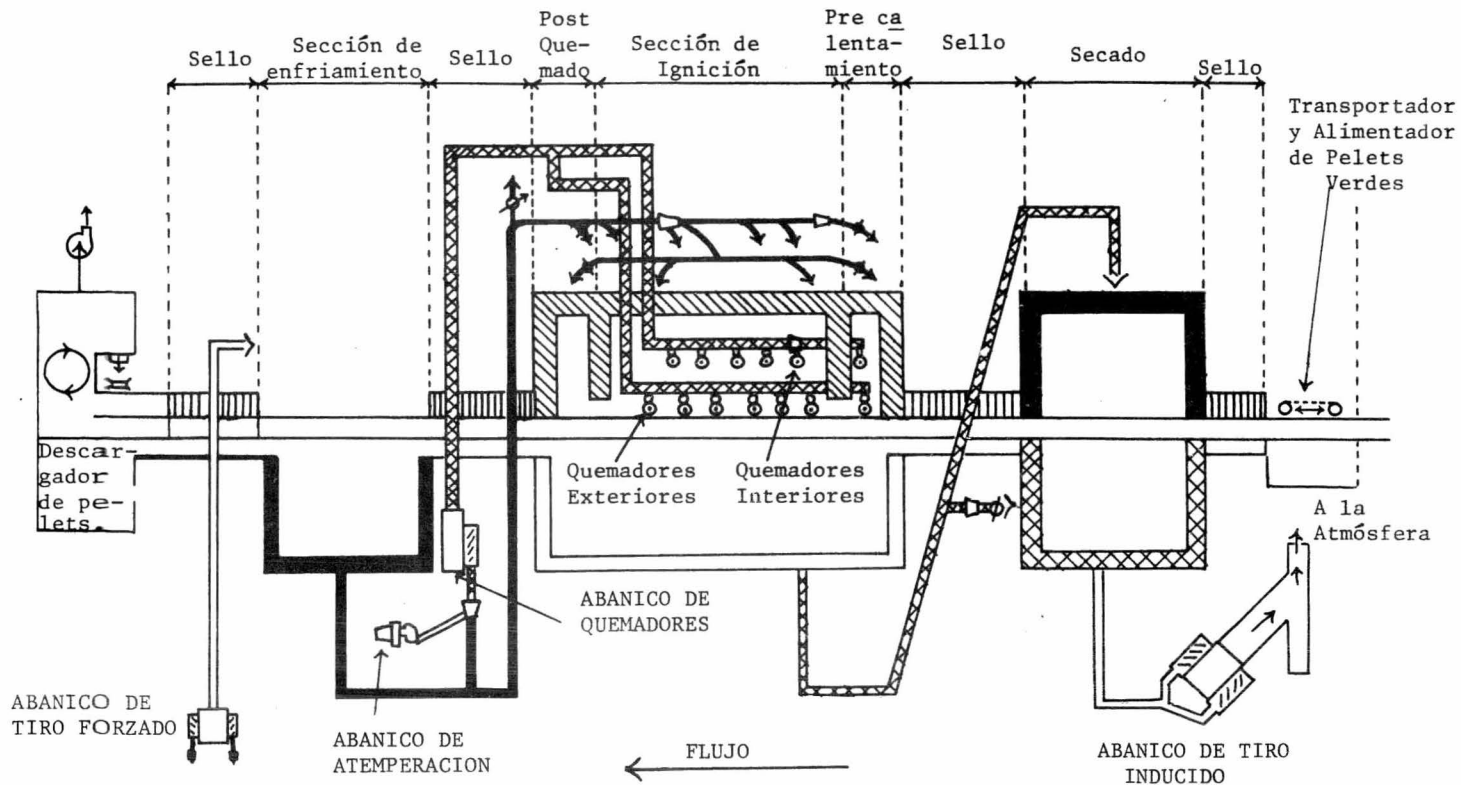


FIGURA 12.- Horno de Parrilla Circular

- Sin aislamiento
- Con aislamiento interior
- ▨ Con aislamiento exterior
- ▧ Aislamiento y refractario
- ▩ Sellos

consta de tambor, clasificador y equipo auxiliar de transportación. Este equipo presenta la desventaja de ocupar un mayor espacio que otros equipos, pero presenta una gran ventaja que es la gran capacidad, ya que un tambor de 2.74 m. de diámetro tiene una capacidad del doble que un equipo de cono de 4.26 m. Por esta razón, y además debido al clasificador que posee, la tendencia de este equipo es producir un pelet más uniforme y con menos variaciones en calidad y tamaño.

El equipo de cono tiene la ventaja de no requerir un clasificador, ya que el tamaño del producto depende solamente del tiempo de residencia en dicho Tambor.

El disco tiene la desventaja de ser más sensible a variaciones en las características del material de carga, sin embargo las características del pelet tales como tamaño y densidad se controlan más fácilmente, además la evolución de este tipo de equipos lo han hecho más aceptable en relación a otros, aún cuando el equipo de Tambor presenta grandes ventajas también.

Los hornos de endurecimiento pueden dividirse básicamente en dos tipos: los de cuba y los de parrilla. Dentro de los hornos de cuba, se tienen dos variantes; el tipo Erie, el cual es muy común debido a que la temperatura de los gases dentro de la cuba presenta una buena uniformidad, pero sobre todo por tener una alta eficiencia calorífica y recuperación de calor de los

pelets calientes. El horno tipo Bethlehem tiene una cuba más pequeña pero presenta una buena distribución de aire en la parte inferior de este. En general es más complejo y requiere 10% de potencia más, no obstante tiene la ventaja de que puede descargarse más frío el pelet.

Los hornos de parrilla han tenido una gran aceptación, estos se dividen en hornos de parrilla recta y hornos de parrilla circular; entre estos dos tipos el horno rotatorio es un poco más complejo en su diseño aún cuando el principio de operación de ambos es básicamente el mismo; la gran ventaja de ambos es la continuidad, pero debido a la sencillez del de parrilla recta, y a las ventajas que representa tal equipo, lo hacen más empleado, en la mayoría de las industrias de muchos países.

Debido a la importancia de los pelets que se ha venido observando hasta ahora, se ve la necesidad de obtener un pelet verde con mejores propiedades pues básicamente de ello depende la buena calidad del pelet final; para lograr este se debe tener uniformidad en el producto húmedo lo mejor posible y reunir las mejores cualidades tanto químicas como físicas mediante un buen control de esto.

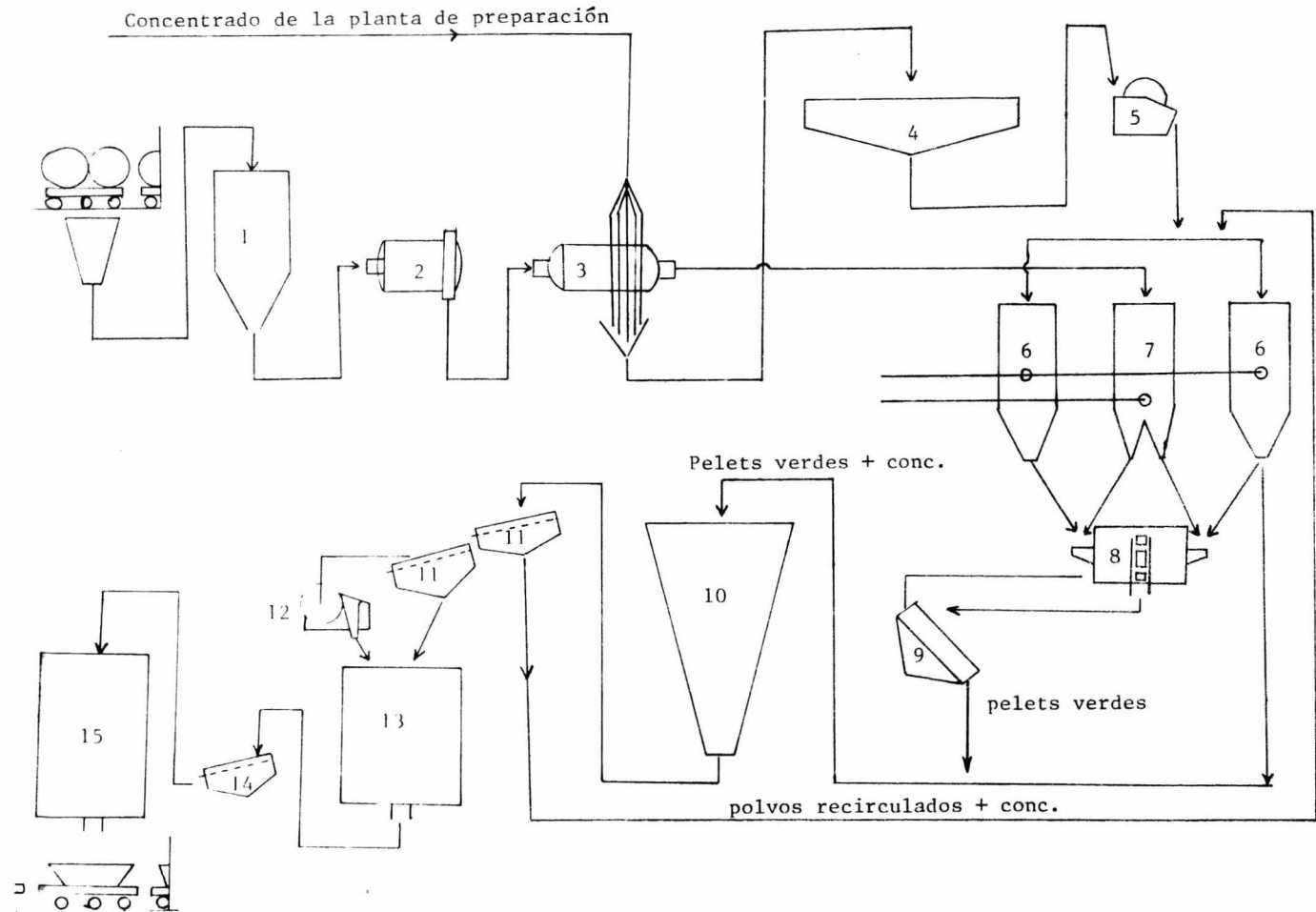


Diagrama 12.- DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA PLANTA PELETIZADORA

REFERENCIAS DEL DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA
PLANTA PELETIZADORA

- 1.- Tolvas de cementante
- 2.- Molino de barras
- 3.- Molino de bolas
- 4.- Espesador
- 5.- Filtro
- 6.- Tolvas de concentrado
- 7.- Tolva de cementante
- 8.- Molino de barras mezclador
- 9.- Disco peletizador
- 10.- Tolva de endurecimiento
- 11.- Cribas
- 12.- Trituradora de material grande
- 13.- Tolvas endurecedoras secundarias
- 14.- Criba
- 15.- Alimentador para las cajas del tren
con pelets terminados.

II.- Pruebas a Pelets Verdes.

II.1. Pruebas que se realizan a los pelets verdes o húmedos

Como se mencionó anteriormente, el pelet verde o pelet húmedo, es sometido a algunas pruebas, tales como tamaño de partícula para tener una uniformidad en el material peletizable; resistencia a la compresión y prueba de caída.

La prueba de tamaño o clasificación, se efectúa conforme a un análisis de cribas común, este se aplica al material tanto húmedo como al pelet seco y endurecido; una explicación más detallada de esta prueba se verá adelante.

La prueba de resistencia a la compresión también se efectúa al material tanto húmedo como seco una vez que ha sido tomada la muestra; el material se coloca en un aparato de compresión, el cual funciona aplicando una carga que va incrementándose paulatinamente hasta que el pelet es roto, indicándose la presión ejercida sobre la muestra hasta el momento en que esta se rompe; en promedio un pelet verde de 1.1 - 1.27 cm. de tamaño debe tener una resistencia a la compresión de 1.8 - 2.0 Kg., posteriormente se verá en detalle en que consiste la prueba completa.

Particularmente al pelet verde se le hace la prueba de resistencia o caída, esta prueba es muy sencilla y consiste en lo siguiente: se deja caer libremente el pelet verde desde una altura

de 45 cm. o 18 in. en el sistema inglés, sobre una placa de acero y se repite esta operación las veces necesarias hasta que el pelet se rompa, siendo tomada dicha cantidad como la medida de resistencia a la caída.

Como puede verse, la manera de medir esta propiedad es absurda, arbitraria e infundada; debido a que en algunas ocasiones ni siquiera se mide la altura y a veces la prueba se efectúa dejando caer la muestra sobre el piso sin tomar en consideración la consistencia, dureza y capacidad del piso para absorber energía.

Haciendo un balance de energía:

Considerando básicamente las energías cinética y potencial en este sistema tendremos entonces:

Tomando como punto (1) la posición a una altura de 45 cm. y como punto (2) la posición al momento de hacer contacto con la placa procedemos a lo siguiente:

$$E_{c1} + E_{p1} = E_{c2} + E_{p2}$$

$$\frac{1}{2} m v_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2} m v_2^2 + mgh_2 \quad \text{----- (1)}$$

Como en el punto 1, la velocidad vale cero, entonces ése término se anula; así mismo como en el punto 2 conforme a

nuestro sistema de referencia, la altura vale cero, entonces ese término también se anula, de esta manera la emoción de energía queda así:

$$\begin{aligned} E_p &= E_c \\ mgh &= \frac{1}{2} m v_2^2 \end{aligned} \quad \text{----- (2)}$$

calculamos v_2^2 :

$$v_2^2 = v_1^2 + 2 g h$$

$$v_2^2 = 2 g h$$

$$v_2^2 = 2 \left(981 \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2} \right) (45 \text{ cm.})$$

$$v_2^2 = 88290 \frac{\text{cm}^2}{\text{seg}^2}$$

Ahora considerando a un pelet cuya masa sea de 9.2775g. tenemos de la ecuación (2):

$$mgh = \frac{1}{2} m v_2^2$$

sustituyendo valores:

$$\begin{aligned} (9.2775 \text{ g}) \left(981 \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2} \right) (45 \text{ cm.}) &= \\ = \frac{1}{2} (9.2775 \text{ g}) \left(88290 \frac{\text{cm}^2}{\text{seg}^2} \right) & \end{aligned}$$

haciendo operaciones y sustituyendo unidades se tiene:

$$409,224.15 \frac{\text{g cm.}}{\text{seg}^2} \text{ cm.} = 409.224.15 \text{ g} \frac{\text{cm.}}{\text{seg}^2} \text{ cm}$$

$$409,224.15 \text{ erg. cm.} = 409,224.15 \text{ dina}$$

$$\text{o bien } 409.22415 \times 10^{-4} \text{ Joules}$$

por lo tanto, se requiere de una energía de 0.040922415 Joules en cada impacto. Se dice que un número de "caídas" deseable es un promedio seis, pero que es indeseable que tenga un número mayor a 12, pues puede ser demasiado plástica durante el posterior calentamiento y ocasionar problemas.

La razón por la cual debe el pelet dejarse caer sobre una placa de acero es para producir un choque lo más elástico posible y evitar efectos amortiguadores.

Una manera más confiable y segura de llevar a cabo una prueba para darle una caracterización a esta propiedad sería dándole a la muestra un impulso por medio de un resorte, que proporcionara una energía equivalente de tal manera que al impacto con la barrera pudiera determinarse la resistencia simplemente soportable de no romperse y débil en caso contrario. Por otro lado, al aumentar la resistencia a la compresión del material, aumenta también el valor de la resistencia a la caída.

La resistencia del pelet verde es necesaria para soportar la pérdida de agua tan brusca durante el secado, pues se forma una presión de vapor alta, sobre todo en el centro del pelet y puede darse un resquebrajamiento si el material no cuenta con la suficiente fortaleza para ello.

III.- Pruebas que se efectúan a Pelets endurecidos.

III.1. Análisis de cribas o tamaño de partícula.

Este método abarca las determinaciones de distribución de tamaños de pelets, ya sea en seco o en húmedo. La muestra pasa a través de una serie de mallas por agitación.

El material empleado para la clasificación es el siguiente:

- Cribas necesarias conforme a los requerimientos específicos.
- Agitador mecánico de cribas.
- Horno de secado para mantener el material a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (para tener peso constante en el caso de cribado en seco).
- Separador o divisor de muestras con 2.5 cm. de abertura.
- Pesos y escalas de buena exactitud.
- Charolas para contener a la muestra.
- Cepillos de cerdas de latón y fibras para limpiar cribas y charolas.
- En el caso de criba en húmedo, se requiere un aparato especial que contenga un marco profundo para la criba.
- Agua o cualquier líquido para cribado en húmedo (si es necesario).

Dependiendo del tamaño del pelet que vaya a desearse, este se criba primero en una malla que separe el material que exceda el límite superior permitido y deje pasar al material menor a la siguiente malla que retendrá exclusivamente al material que satisfaga el tamaño permitido del límite inferior, dejando pasar al de tamaño menor y así sucesivamente pesando todas las cantidades. Los cálculos se hacen de la siguiente manera:

El porcentaje de material retenido en el rango deseado se determina como sigue:

$$\text{Porcentaje de material retenido} = \frac{W_s}{W_t} \times 100$$

donde W_s es el peso del material retenido en el rango deseado y

W_t es el peso de la muestra total sometida al análisis. La suma total de los porcentajes debe sumar 100 teniendo una tolerancia máxima del -1%.

Para efectuar la prueba debe primero limpiar muy bien todo el equipo que va a usarse, cepillando las cribas con los cepillos apropiados, es decir las cribas más finas con cepillos también muy finos; en ocasiones es necesario lavarlos en caliente con jabón y agua y posteriormente secarlos perfectamente. Una vez secas, se colocan las cribas seleccionadas de mayor a menor, una sobre la otra, y hasta el fondo una charola que contenga al material más fino.

Por lo que respecta al tiempo de cribado, este varía de 3 a 30 min. dependiendo del material que se trate; una alteración del tiempo puede ocasionar variaciones mayores al 0.3% en el análisis de cribas; por lo cual el tiempo necesario se determina experimentalmente.

Cuando ha transcurrido el tiempo de operación, se pasa todo el material de cada malla a una charola limpia y seca y se pesa. El reporte se hace de la siguiente manera: se reporta el tamaño de la criba, el peso del material en cada una, así como el porcentaje correspondiente y porcentaje total acumulado. Se presentan los datos del análisis gráficamente, ya sea graficando la acumulación directa o bien logarítmica. La ventaja de gráficas es que por medio de una interpolación pueden determinarse de manera bastante aceptable, los porcentajes correspondientes a otro conjunto de cribas diferente al usado en el presente análisis.

Esta prueba es de suma importancia en cualquier proceso de peletización, pues la formación de demasiados finos o bien en caso contrario de demasiado material de tamaño excesivo, nos indica en ambos casos fallas a lo largo de la operación, las cuales pasarían desapercibidos, si el análisis de cribas no se efectuara o se efectuara de manera deficiente, por lo cual debe aplicarse la prueba con mucho cuidado ya que sí esta es bastante buena y tiene una exactitud muy confiable, lo cual le da una absoluta validez.

III.2. Resistencia a la compresión.

Este método determina la resistencia a la compresión de pelets de minerales de hierro. Existen algunas variantes para este método, pero en esencia es el mismo; en algunas versiones se piden sesenta ejemplares de muestra mientras que en otros se requieren cien, pero en compensación con esto la velocidad de aplicación de la carga es diferente para el primer caso es de 5-mm/min. mientras que para el otro es de 12.7 a 25.4 mm/min.

El aparato tiene una capacidad de 1134 Kg. y consiste en dos bases de superficie endurecida de las cuales una es fija y la otra se mueve hacia la primera ejerciendo una presión que se incrementa a una velocidad que como hemos mencionado varía según el tamaño del pelet, así por ejemplo, si se van a probar pelets cuyo tamaño oscile entre 1.0 y 1.25 cm., entonces la velocidad de compresión óptima es de 5 mm/min., y si el pelet es de mayor tamaño, la velocidad puede aumentar; así, se aplica la carga hasta que el pelet se rompa. El aparato para presionar, debe tener un indicador que marque la presión ejercida cuando el pelet se rompa, y las graduaciones no deberán ser mayores de 4.5 Kg f.

Para esta prueba se emplean primero un separador con una abertura tres veces mayor que el primer tamiz de tal manera que pase el 95% de pelets y un conjunto de tamices que según el caso sean más convenientes, un ejemplo puede ser el siguiente:

3.15 cm.

2.5 cm.

2.24 cm.

1.9 cm.

1.6 cm.

1.25 cm.

1.12 cm.

0.95 cm.

0.8 cm.

0.63 cm.

El tamaño del pelet que se analizará, será aquel que según el resultado del análisis obtenga el mayor porcentaje. Así pues se prepara la muestra, en el caso de tratarse de pelets secos, estos se ponen a peso constante bajo una temperatura de 105°C, es aconsejable disponer de un buen número de muestras; según investigaciones se ha demostrado que en el caso de pelets se requiere un número mínimo de 60 determinaciones para obtener valores medios suficientemente exactos; según esto, a una probabilidad del 95%, esta muestra da un intervalo de confianza de 8% del valor medio; por lo cual se aconseja efectuar la prueba a 100 unidades de muestra, tomando como valor de compresión el más cercano a la marca de 4.5 Kg. y sacando de todos los valores obtenidos un promedio. Si la diferencia entre los valores máximo y mínimo de las pruebas, es mayor de 11.3 Kg., entonces deberá hacerse otra prueba adicional a otra muestra de 100 pelets.

El reporte se hará de la manera siguiente: se menciona el número de pelets probados de cada muestra, los valores mayor y menor de resistencia, el tamaño de pelet y la resistencia a la compresión media de todos los pelets.

Otra alternativa para efectuar pruebas de compresión consiste en aplicar una carga que se incrementa constantemente, el equipo que se emplea en este caso está basado en el principio de la fuerza de palanca y consiste en una carga que se mueve a velocidad constante sobre una palanca horizontal, la cual aplica la presión al pelet mediante un mecanismo.

Por investigaciones hechas comparando ambos métodos, se ha demostrado que no existe gran diferencia entre los resultados obtenidos de ambos métodos, lo que hace que esta prueba, cualquiera que sea el método utilizado ofrece una buena confiabilidad.

Se dice que la resistencia a la compresión en frío, depende del menor contenido de escoria que se halle uniendo los granos y de la textura de compactación asociada que ha logrado el pelet.

Un valor aceptable para pelets, es de 136 Kg. para un tamaño de 0.635 cm. y para pelets de 2.54 cm. el rango aceptable es de 363 a 680 Kg.

III.3. Resistencia a la abrasión ("Tumbler").

En este tipo de prueba se da una idea de la resistencia del pelet a la degradación por abrasión e impacto; para lo cual se introducen los pelets dentro de un tambor cilíndrico rotatorio cribando el material posteriormente para determinar la degradación.

El tambor esta hecho con placa de acero de 6.35 mm. de espesor; el diámetro interno mide 914 mm. y 457 mm. de longitud. Cuando el grueso del tambor es menor de 3.18 mm. en cualquier zona de este, debe ser reemplazado. En la parte interna del tambor y colocadas a lo largo de éste, lleva dos costillas o elevaciones de ángulo de acero, equidistantes y opuestas, de 50.8 X 50.8 X 6.35 mm., y deben pegarse a las paredes del tambor de tal manera que no haya acumulación de material entre el tambor y las costillas.

Se recomienda que una costilla esté unida a la puerta para facilitar las maniobras; estas deberán reemplazarse cuando en cualquiera de las partes que median originalmente 50.8 mm., por desgaste midan menos de 47.6 mm.

La puerta debe estar construída de tal forma que se acople perfectamente al tambor y que en la parte interior quede una superficie pareja y que durante la prueba se coloque herméticamente para evitar cualquier pérdida de material.

El tambor es rotado en secciones de ejes localizados de manera perpendicular sobre las caras del tambor que va suspendido; el diámetro de los ejes es de aproximadamente 38.1-mm. de diámetro; la unión de los ejes con el tambor es por medio de pestañas soldadas o bien mediante pernos, para conservar lisa la superficie interna del tambor.

El aparato debe estar provisto con un contador de revoluciones y preferiblemente con un dispositivo automático que detenga el tambor una vez que se han cumplido 200 revoluciones.

En esta prueba se emplean cribas de mallas con las siguientes designaciones:

50.8 mm.

38.1 mm.

19.0 mm.

12.7 mm.

9.51 mm.

6.35 mm.

y 0.595 mm.

Las escalas usadas para pesar las muestras deben ser sensibles a 22.68g.

Se usan 11.3 Kg. \pm 0.23 Kg. de muestra de pelets secados a peso constante a una temperatura entre 105 -110°C, el

tamaño de pelets que constituirán la muestra, es menor de 38.1- mm. pero mayor de 6.35 mm.

Se introducen los 11.3 Kg. de muestra en el tambor. Se coloca rígidamente la puerta y se rota el tambor a 24 ± 1 rpm. para un total de 200 revoluciones; después de los cuales se renueva todo el material del tambor y se tamiza sobre la malla de 6.35 mm. y 0.595. Se pesan separadamente y se recuerda la cantidad de muestra retenida en la malla de 6.35 mm., la cantidad de material que es retenido en la malla de 0.595 mm. y la cantidad que pasa esta última.

Deben efectuarse dos pruebas por lo menos para cada muestra de pelets, si la diferencia entre los valores obtenidos fuera mayor a 0.4 unidades en el porcentaje acumulativo sobre la malla de 6.35 mm. o la malla de 0.595 mm., deberá hacerse al menos una prueba adicional y tomar el valor medio de todas las pruebas tomadas.

Para cualquier prueba, la pérdida total en peso no debe exceder el 0.7%; de otro modo la prueba se rechaza.

Se reporta en el análisis de cribas, después de la prueba, lo más cercano al 0.1% como el por ciento sobre la malla de 6.35 mm. y el por ciento que pasa la malla de 0.595 mm.

Existe otro método para determinar el índice de tambor giratorio, modificado por el Comité Técnico de la Organización Internacional para la Estandarización o MICUM.

Este método al igual que el anterior, proporciona una medida relativa de resistencia del pelet de mineral de hierro a la degradación por impacto y por abrasión.

El principio del método es igual al anterior: se introduce la muestra en el tambor, se cierra herméticamente, se rota las revoluciones determinadas, se remueve la muestra y se criba en mallas específicas para esta prueba.

El aparato es igualmente un tambor o cilindro rotatorio de 1m. de diámetro interno, 50 cm. de longitud interna y hecho con placas de acero de 5 mm. de grueso mínimo, el cual al desgastarse hasta 4.8 mm., debe reemplazarse, también consta de dos costillas de ángulo de acero de 50 x 50 x 5 mm., unido sólidamente a las paredes del cilindro, de manera longitudinal, opuestas una a la otra y riveteadas para evitar acumulaciones; una costilla va unida a la puerta; la función de estas costillas es la de formar una especie de anaquel libre que levante la carga cuando gira el tambor, estos también se sustituyen cuando lleguen a medir menos de 4.7 mm. (Figura 13)

El aparato debe tener una potencia mínima de 1.5 KW.

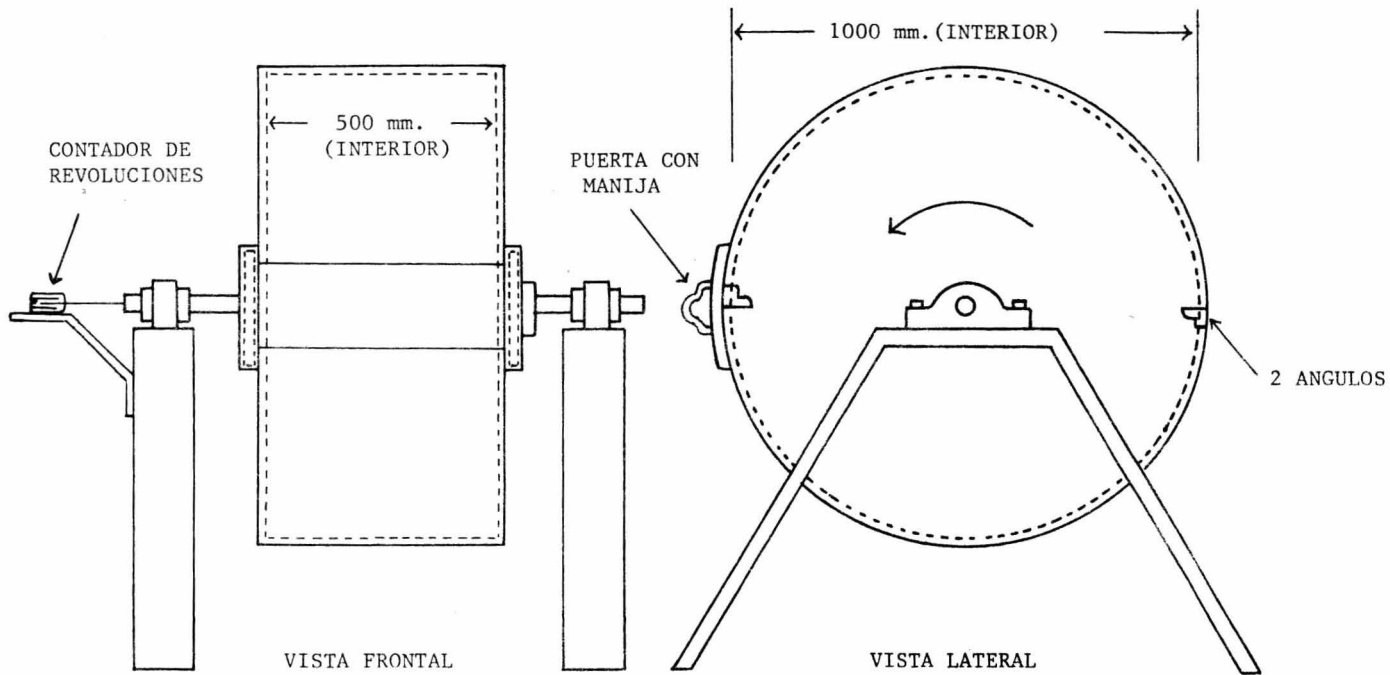


FIGURA 13.-Aparato para prueba de degradación (TUMBLER)

para asegurar una velocidad uniforme en cada revolución, rote uniformemente y se detenga en menos de una revolución.

Se requieren cribas con mallas cuadradas o platos con las siguientes designaciones que se necesitan:

40 mm.
25 mm.
16 mm.
10 mm.
5.6 mm.
y 0.5 mm.

Se necesitan dos escalas; una de tipo comercial cuya capacidad sea de 100 Kg. y otra más con capacidad entre 15 y 10 Kg. con una sensibilidad de 0.001 o más si es posible.

También se requiere un clasificador con abertura de 40 mm. para pelets con tamaño máximo de 20 mm., el clasificador se sustituye por un coning y cuarteados o cualquier otro método aprobado de reducción de muestras.

Una vez que se ha tomado la muestra reducida, se seca y esta debe ser suficiente para obtener 60 Kg. de pelets que pasan la criba de 40 mm. y retenidos en la de 5.6 mm. De la muestra reducida, la muestra final que será sometida a la prueba, debe

pesar 15 Kg. \pm 0.15 Kg., ésta se introduce en el tambor, se cierra bien la puerta y se gira a 25 rpm \pm 1 a dar un total de 200 revoluciones, se remueve el material y se criba en las mallas de 5.6 mm. y 0.5 mm.; se determinan las cantidades de muestra que es retenida en la malla de 5.6 mm., la que es retenida en la malla de 0.5 mm. y la que pasa ésta malla.

El análisis de cribas después de la prueba, debe ser reportado lo más cercano a 0.1% como porcentaje retenido en la malla de 5.6 mm., el porcentaje que queda retenido en la malla de 0.5 mm. y el porciento de material que pasa la malla de 0.5 mm.

El índice de resistencia al tambor giratorio "Tumbler" (T) y el índice de abrasión (A) se calculan; determinando el primer decimal y redondeando el segundo de acuerdo a las siguientes formulas:

$$T = \frac{B}{B + C + D} \times 100$$

$$A = \frac{D}{B + C + D} \times 100$$

donde B= peso en gramos de la parte de la muestra + 5.6 mallas
C= peso en gramos de la parte - 5.6 mallas + 0.5 mallas y
D= peso en gramos de la parte - 0.5 mallas.

En cada muestra de pelets se hacen pruebas por duplicado,

si la diferencia entre ambos valores está dentro de la tolerancia permisible que se dá en la siguiente tabla, se reporta el valor medio; si la diferencia de los valores es mayor que la permisible, entonces se efectúa otro par de pruebas, si aún así la diferencia es grande, entonces se reporta el promedio de los cuatro valores.

La tolerancia entre los valores de las pruebas será conforme a la tolerancia de la siguiente tabla:

TOLERANCIA PERMISIBLE EN PORCIENTO ABSOLUTO

RESISTENCIA AL TAMBOR GIRATORIO (Tumbler)	TOLERANCIA EN % ABSOLUTO
Indice de Tumbler (T) % (+5.6mm.)	$\Delta T = - 0.03 T + 3.8$
Indice de Abrasión (A) % (-0.5mm.)	$\Delta A = - 0.03(100-A) + 3.8$

La diferencia entre el peso inicial de la muestra y el total de fracciones de pesos, no debe ser mayor a 0.7% del peso inicial de la muestra. Si la diferencia es mayor, la prueba se rechaza. (Ver figura 13).

Dentro de las pruebas de resistencia mecánica, existen otros ensayos para determinar la resistencia a la abrasión; dentro de estos se haya el denominado SEMIMICUM.

En el SEMIMICUM una muestra representativa de 16 Kg. de pelets de fracciones superiores a 10 mm., se someten en un tambor de 1 m. de diámetro por 25 cm. de ancho durante 100 vueltas, a una velocidad de giro de 25 rpm.; el tambor lleva cuatro resaltes interiores de 10 cm. diametralmente opuestos y a 90° entre sí. Al terminar el ensayo, se determinaron los pesos de las siguientes fracciones:

- + 40 mm.
- + 20, - 40 mm.
- + 10, - 20 mm.
- + 5, - 10 mm.
- + 2.5, - 5 mm.
- + 1, - 2.5 mm.

y - 1 mm.

El resultado expresa el porcentaje de cada fracción o también puede expresarse calculando la media y la desviación estandar de la distribución granulométrica.

El ensayo ASTM., se emplea principalmente en los países en donde se usa el sistema inglés, en el cual se prueba una muestra de pelets cuyo tamaño oscila entre 3/8 in. y 2 in. El inconveniente de este ensayo, es que cuando se aplica la prueba solamente al material comprendido en ese rango, éste puede representar solamente una fracción del producto de pelets.

Haciendo comparación por medio de análisis estadístico entre los ensayos SEMIMICUM y ASTM, se encontró que no hay diferencias significativas entre los resultados de ambos, los hay en lo que se refiere a los resultados obtenidos dependientes de las características físicas de los materiales ensayados (magnetitas duros, hematitas blandos y pelets comerciales). Conforme a esto, el ensayo SEMIMICUM tiene mayor índice de abrasión y como la muestra sometida es menor, se observa una ventaja adicional a este método.

Existen otros tipos de tambor de laboratorio para pruebas de abrasión como el de GAKUSHIN cuyas dimensiones son 150 mm. de diámetro y 65 mm. de ancho, gira a una velocidad de 2.4 rpm.; la muestra que se somete a degradación en el, es de 150 g. durante 30 min. dando un total de 72 vueltas el tambor. En la tabla (2) se muestran resultados de pelets comerciales sin reducir y reducidos, sometidos a esta prueba.

En la mayoría de los casos, la degradación de los pelets sin reducir es nula y como la producción de polvos en los pelets reducidos es muy pequeña, se puede concluir que el procedimiento no es suficientemente severo, y sólo puede indicar por comparación la resistencia a la abrasión de los materiales de la carga.

Debido a que es necesario un método que pueda tratar

DEGRADACION EN EL TAMBOR DE GAKUSHIN

PELETS Tamaño mm	R.		M. (1)		M. (2)		E.		M.O.H. (1)	
	Antes red	Después	Antes red	Después	Antes red	Después	Antes red	Después	Antes red	Después
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
6,35	92,7	88,0	98,7	92,0	97,0	88,5	98,4	96,8	100	91,4
3,175 - 6,35	7,3	10,8	1,3	4,6	0,6	3,7	0,9	2,3	-	3,8
1,676 - 3,175	-	0,3	-	1,3	-	0,9	0,6	0,3	-	1,9
0,5 - 1,676	-	-	-	0,7	-	0,9	-	0,3	-	1,3
0,5	-	0,7	-	1,3	2,5	6,0	-	0,3	-	1,6

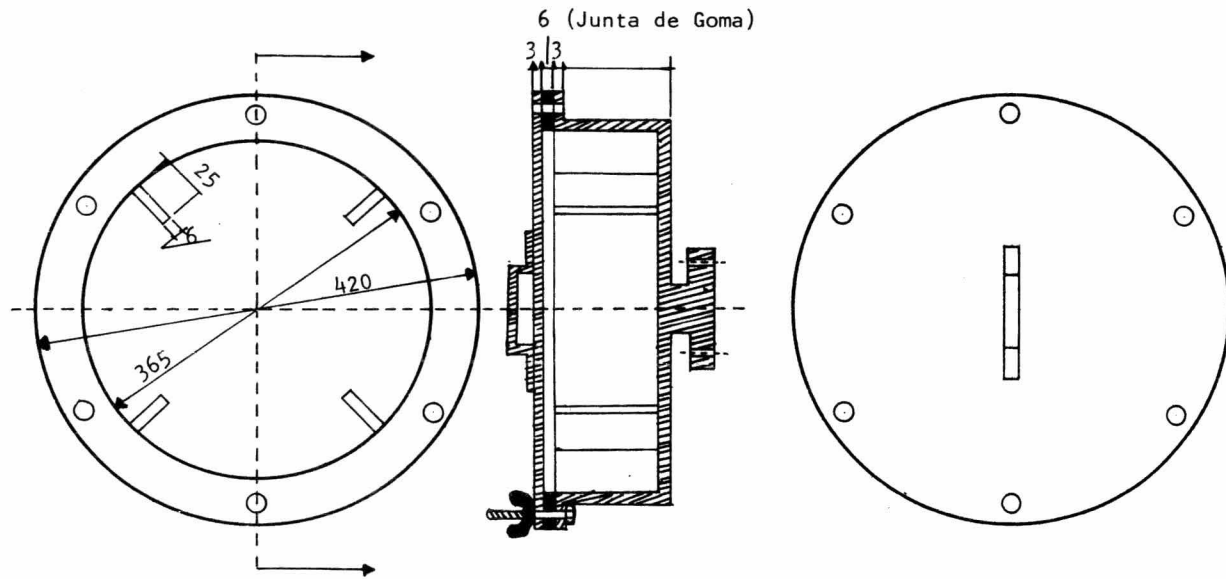
PELETS Tamaño mm	M.O.H. (2)		S.		Ma.		E.M.T. 1.232°C		E.M.T. 1.260°C	
	Antes red	Después	Antes red	Después	Antes red	Después	Antes red	Después	Antes red	Después
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
6,35	100	91,2	100	97,9	100	100	99,7	98,9	100	100
3,175 - 6,35	-	3,8	-	0,3	-	-	0,3	0,3	-	-
1,676 - 3,175	-	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-
0,5 - 1,676	-	1,3	-	-	-	-	-	0,3	-	-
0,5	-	1,6	-	1,8	-	-	-	0,3	-	-

PELETS Tamaño mm	E.M.T. 1.288°C		E.M.T. 1.315°C		H.		Mm. (b)		Mm. (s)	
	Antes red	Después	Antes red	Después	Antes red	Después	Antes red	Después	Antes red	Después
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
6,35	99,7	99,7	100	100	100	100	93,0	85,0	100	96,0
3,175 - 6,35	0,3	0,3	-	-	-	-	3,7	7,8	-	2,0
1,676 - 3,175	-	-	-	-	-	-	1,5	1,8	-	0,3
0,5 - 1,676	-	-	-	-	-	-	0,9	2,8	-	1,0
0,5	-	-	-	-	-	-	0,9	2,5	-	0,7

TABLA 2

pesos pequeños de muestras inferiores a las que se emplean en los tambores citados, se proyectó el tambor CENIM de 20 cm. de diámetro por 10 cm. de ancho, girando a 30 rpm.; en el se tratan muestras de 100 g. de diversos tipos de pelets. Por medio de pruebas efectuadas a diferentes tiempos de 15,30,45,60 y 120 min., se ha podido determinar un tiempo óptimo de prueba de 30 min. (Figura 14).

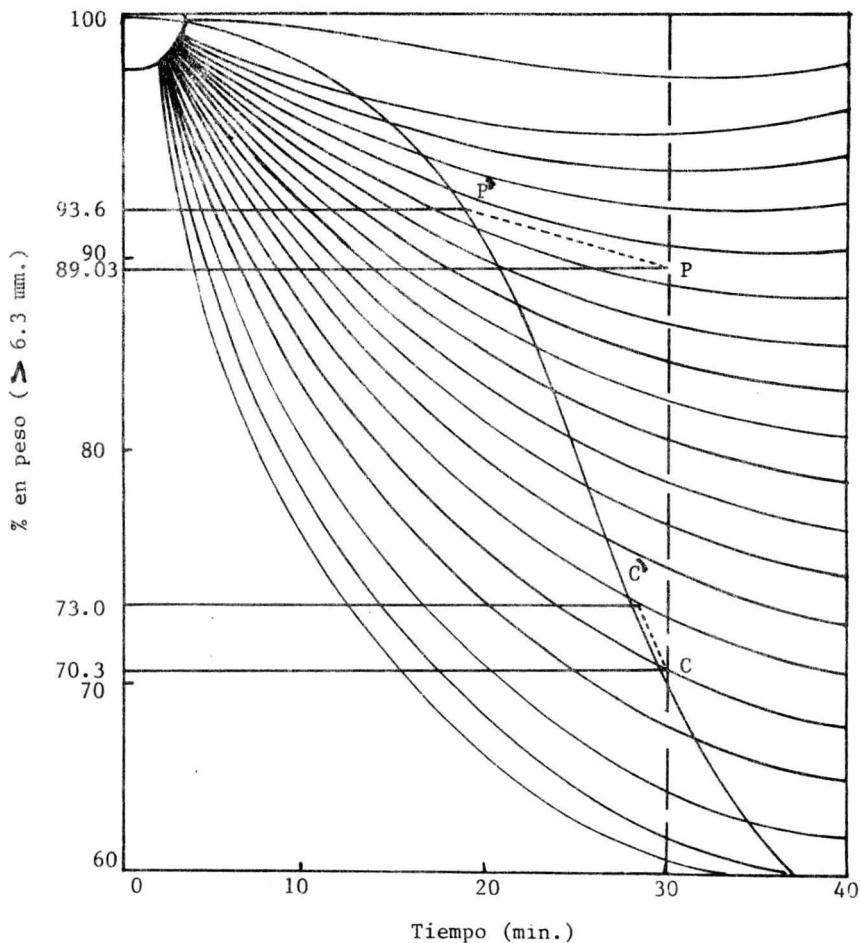
Dada la necesidad de un equipo para probar cantidades pequeñas de muestra para ensayar la degradación, se decidió diseñar un tambor para cargar 250 g. de muestra, como las dimensiones del mismo son pequeñas, las causas principales de la degradación son la abrasión y el desgaste superficial ya que las fracturas serían mínimas si existieran, debido a la escasa altura del tambor. Las dimensiones arbitrarias son las siguientes: 365 mm. de diámetro interno, 420 mm. de diámetro externo, 97 mm. de fondo, cuatro costillas opuestas entre sí, a 90° una de otra y colocadas en la pared del tambor. Después de varios experimentos, se determinaron las condiciones óptimas de operación entre las cuales la velocidad es de 70 rpm. Luego se llevó a cabo un número de ensayos para determinar la reproducibilidad de los resultados y su correlación con el ensayo ASTM y se encontró que los ensayos son bastante reproducibles y que las desviaciones típicas son del orden $\pm 0.9\%$ por lo cual puede predecirse el valor de la abrasión del ensayo ASTM con un error de ± 1 a partir de un ensayo MINIMICUM, siempre que la muestra empleada sea de



Dimensiones en mm.

FIGURA 14.- TAMBOR MINIMICUM CENIM

una buena homogeneidad y sus tamaños oscilen entre 8 y 15 mm. (Ver gráfica 2).



GRAFICA 2.- Curvas de degradación MINIMICUM y su equivalencia con abrasión en tambor A.S.T.M. > 6.3 mm.

- C-C) material A (a 70.3% MINIMICUM equivalen 73.0% A.S.T.M.
- P-P) material B (a 89.03% MINIMICUM equivalen 93.6% A.S.T.M.

III.4. Porosidad

La porosidad es una propiedad muy importante en los pelets, debido a que de esta depende una buena reducibilidad del material, pues una porosidad excesiva trae como consecuencia una disminución en la resistencia física de los pelets. Por esas razones, la medida de esta característica debe tomarse mediante procedimientos adecuados.

Se entiende por porosidad la relación entre el volumen que ocupan los poros de un pelet y el volumen total expresado en porcentaje, esta relación es calculada de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$P = \frac{V - \frac{m}{p}}{V} \times 100$$

en la cual P es el porcentaje de porosidad; V es el volumen total del pelet expresado en cm^3 , p es la gravedad específica en g/cm^3 y m es el peso del pelet en gramos. La gravedad específica del pelet se mide haciendo uso de un picnómetro.

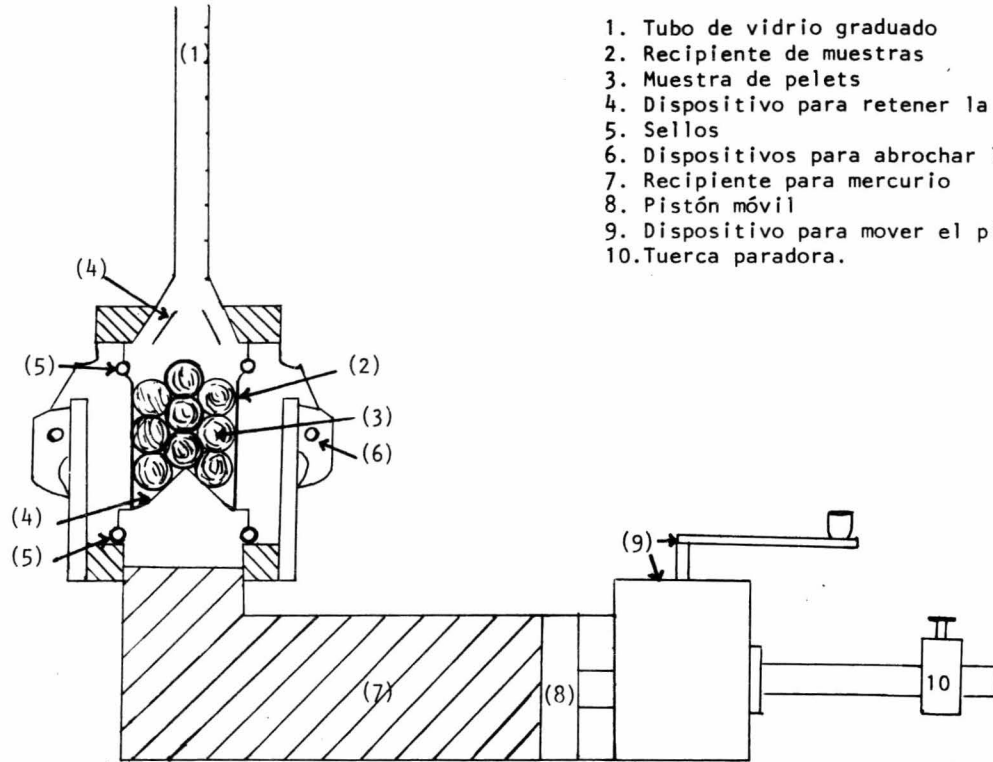
El método más común para determinar el volumen de los pelets es tomando la medida individual de cada pelet al ser sumergido en un recipiente graduado y conteniendo mercurio.

Como la prueba se aplica a un número relativamente grande de muestras con objeto de que sea más confiable, tomar el volumen individual de cada pelet resulta muy complicado a pesar de ser exacto. Lo que se hace entonces, es emplear un voluménometro de mercurio el cual de manera exacta y rápida nos da el volumen de 20 pelets en una sola medida. (Figura 15).

El aparato se calibra a cero una vez que se ha dejado que el mercurio pase a la cámara correspondiente y se estabilice el cero en el tubo de medida una vez calibrado. Cuando la cámara de muestras contiene a los pelets a medir, entonces sube el nivel de mercurio, el cual cuando se estabiliza pue de tomarse la medida la cual corresponde al volumen total de los pelets.

El equipo también es usado para medir el volumen a pelets verdes y a pelets secados.

Durante la elaboración del pelet, dos factores importantes determinan la porosidad del mismo; al cocer pelets verdes, se obtienen diferentes porosidades al variar el tiempo y la temperatura, pueden tenerse rangos de porosidad que van de 50% hasta 1.5%; a la vez los diámetros de los pelets dependen de la porosidad y varían de 0.75 cm. a 1 cm.



1. Tubo de vidrio graduado
2. Recipiente de muestras
3. Muestra de pelets
4. Dispositivo para retener la muestra
5. Sellos
6. Dispositivos para abrochar la parte superior
7. Recipiente para mercurio
8. Pistón móvil
9. Dispositivo para mover el pistón
10. Tuerca paradora.

FIGURA 15.- MEDIDOR DE VOLUMEN DE PELETS

Otra manera para determinar la porosidad de los pelets es siguiendo la expresión dada.

$$\text{Porosidad} = 1 - \frac{\text{densidad aparente del pelet}}{\text{densidad teórica del óxido férrico puro.}}$$

De la cual se toma para la densidad teórica del óxido férrico puro, el valor de 5.25 g/cm³. Cuando la densidad aparente se calcula pasando el pelet en aire y en agua, y si el pelet es muy poroso, entonces la determinación nos puede llevar a resultados erróneos debido a la penetración de agua dentro de los poros; para evitar esto, se han empleado películas cobertoras que impiden la penetración de agua; por otra parte se buscó la forma de encontrar la densidad aparente del pelet cuando la esfericidad de éste es buena, partiendo del promedio de sus diámetros y posteriormente comparar estos valores con los obtenidos con pelets densos por medio de pesajes en aire y en agua, habiéndose encontrado una buena similitud en ambos resultados.

También se determina la porosidad calculando la densidad aparente del pelet a partir de su peso y de su volumen, el cual se obtiene en un densitómetro de mercurio, que funciona por inmersión de la muestra de mercurio. La porosidad queda entonces definida por la relación:

$$P = \frac{Pr - Pa}{Pr} \times 100$$

donde Pr es la densidad real y Pa es la densidad aparente, la densidad real se toma como 5.1 g/cm³.

La exactitud del valor calculado para la porosidad por cualquiera de los métodos mencionados, va a depender de la calidad o de cuanto se acerquen a la realidad, los valores de las variables involucradas en los cálculos, es decir los errores que pudieran haber, serían consecuencia de tomar valores equivocados ya sea en el volumen medido, masa del pelet, densidad real o teórica, o bien de la densidad aparente, la cual es función de la masa y del volumen. Puede observarse que hay una ligera variación al considerar valores aunque muy cercanos, un poco distintos de la densidad teórica o real, la razón de este es el mayor o menor contenido de hematita o magnetita ya que el valor correspondiente a cada una de ellas varía muy poco pero es conveniente considerarlos.

Existen también métodos estadísticos para calcular en medios porosos la superficie específica, el método más común en resumen, se reduce a sobreponer una retícula cuadrada sobre una amplificación de una sección de la muestra que se analiza, se cuenta el número de intersecciones entre las líneas de la

retícula sobrepuesta y el perímetro de los poros y en base a esta determinación hacer los cálculos correspondientes para obtener el valor de la superficie específica.

Evidentemente este método representa algunos problemas, pero sobre todo uno, el muestreo, mientras que en los otros procedimientos se emplea un número relativamente grande de pelets y todos se consideran, sin embargo para este último método se utiliza solamente una sección microscópica que debe ser representativa, lo cual representa en cierta manera una incertidumbre, o bien si se hacen varias pruebas, éstas deben ser numerosas y aún así se tienen los mismos inconvenientes aparte de la laboriosidad, tiempo y complejidad que esto representa.

En general se considera un buen rango de porosidades aquel que oscila entre 20 y 30%.

III.5. Basicidad.

Otra prueba que se efectúa a los pelets es la determinación del índice de basicidad, esta es la relación de los componentes básicos del pelet en los componentes ácidos según la siguiente ecuación:

$$\text{Basicidad} = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$$

Esta relación en algunas ocasiones se reduce simplemente a la siguiente:

$$\text{Basicidad} = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$$

Si la relación $\frac{B}{A} < 1$ entonces el pelet es ácido; pero si esa misma relación $\frac{B}{A} > 1$ se trata de un pelet básico.

En algunos casos, la mayor parte de las cantidades de pelets producidos son ácidos, estos pelets en la mayoría de los casos son fabricados con minerales de baja ley concentrados y tienen una ganga ácida.

La importancia en este es mucha, pues mientras más baja es la cantidad de los componentes ácidos (SiO_2 y Al_2O_3), la utilidad se incrementa pues el volumen de escoria por tonelada de hierro producido es menor, son embargo existe el peligro de que en el límite la proporción de material ácido sea muy baja, ocasionando una disminución de la calidad en las propiedades mecánicas del pelet, además de que puede no alcanzarse el volumen mínimo de escoria requerido para una buena desulfuración.

Por lo que respecta al contenido de Al_2O_3 , se discute que es perjudicial pero también dependen de el una buena fusión así como fluidez de la escoria; respecto a la óptima proporción de este hay mucha diversidad, pero la más frecuente es 18%.

También es de gran importancia según estudios y observaciones, la relación % Al_2O_3/SiO_2 , habiéndose llegado a la conclusión de que la mejor sea 0.4.

III.6. Hinchamiento (O SWELLING) y Reducibilidad.

Se conoce como Swelling el incremento del volumen aparente de los pelets, este es un fenómeno de aumento de área durante la fusión causada por un colapso parcial del material. Debido a esto hay una reducción en la fuerza mecánica, lo cual causa una degradación indeseable en los pelets con los consecuentes detenimientos y disminución en la producción.

No se conoce perfectamente el mecanismo que provoca el hinchamiento, pero por investigaciones hechas respecto a este fenómeno se ha concordado que esto se presenta solamente en la reducción de pelets de hematita. Se han hecho ensayos de reducción de pelets con CO , H_2 mezclas de CO , CO_2 y H_2 y de H_2 y

H₂O habiéndose observado que el hinchamiento no se presenta cuando se hace la reducción con H₂. Otra observación interesante es que este fenómeno solamente se presenta en pelets con bajo contenido de ganga.

El hinchamiento se explica como una causa de la transformación de la hematita hexagonal a la forma cúbica de la magnetita, lo cual provoca trastornos en la red cristalina, estas forman poros debido al efecto Kirkendall y es por esta razón la explicación del incremento del volumen aparente.

Otra explicación del hinchamiento es debida a las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo la manufactura y cocimiento de los pelets, ya que con minerales en forma natural esto no sucede o al menos en mucho menor escala. Hay algunas teorías respecto a esto, pero se ha observado que el hinchamiento y la degradación de pelets durante la reducción puede disminuir por los siguientes métodos:

- 1.- Incremento de la Temperatura de cocido
- 2.- Adición de materiales apropiados para la mezcla de pelets.
- 3.- Manufactura de pelets y de magnetita.

Los siguientes dos puntos están aún en escala práctica:

4.- Estabilización de la austenita cúbica de la magnetita.

5.- Alargamiento de cristales de Fe_2O_3 .

Sin embargo se dice también que el hinchamiento sucede en dos etapas, una que se lleva a cabo durante el 30 a 40% de reducción, a la cual no se le da gran interés por no acarrear consecuencias perjudiciales durante la operación de los altos hornos.

Pero la segunda etapa del hinchamiento anormal se efectúa durante la reducción de wüstita a hierro. Este tipo puede provocar un incremento de volumen hasta del 100% o más, y está relacionada con la forma de nucleación del hierro durante la reducción de la wüstita durante la cual se crean excresencias causadas por crecimientos lineales del hierro, denominados "whiskers" y es por estos "whiskers" por los cuales se da otra explicación de formación de poros que hacen al pelet degradable provocando su desintegración durante el hinchamiento, mientras que en el caso del hinchamiento normal o aquel en el que sólo se lleva a cabo la primera etapa, la forma de crecimiento de grano y nucleación son diferentes, en la cual el hierro tiende a

expandirse sobre la wüstita. Esta forma de reducción no aumenta la porosidad, el hierro se sinretiza conforme sucede la reducción y el pelet empieza a contraerse.

Existe una prueba combinada para medir simultáneamente hinchamiento y reducibilidad desarrollada por LKAB Suecia.* El número de muestras suficiente para pelets comerciales con índices de hinchamiento relativamente bajos (menores al 20%) es 18, según análisis estadístico, pues con tal número se mantiene la desviación estandar con una exactitud de ± 1 unidad y un 95% de probabilidad, por esa razón el tamaño de la muestra adecuado es 18 para pelets de tamaño 10 - 12.5 mm. con un peso medio de 60 g, las cuales se colocan en una cesta y se calientan durante 15 min. con nitrógeno a 1000°C, esta temperatura se ha preferido por ser a la cual se efectúa el máximo hinchamiento, posteriormente se reducen isotérmicamente y se enfrían con nitrógeno a temperatura ambiente durante 20 min. se hacen pruebas con diferentes tiempos de reducción: 15, 40, 75 y 120 min. si se trata de pelets ácidos, para pelets básicos el tiempo empleado es más corto. Con ello se logran reducciones del orden de 25, 45, 60 y 80%. La composición del gas de reducción es de 60% de N₂ y 40% de CO con un flujo que mantiene una velocidad lineal de 57 cm/seg. en el tubo de reducción cuyo diámetro es de 57 mm. de tal forma que se tiene una buena velocidad de flujo también. Continuamente y mediante un marcador, se obtienen las pérdidas

* Figura *

de peso; y la magnitud de hinchamiento se obtiene calculando el volumen total de los pelets, tanto antes como después de la reducción mediante un voluménmetro de mercurio el cual tiene una exactitud de ± 0.1 ml. que representa un 1% de error en el valor del hinchamiento, (Figura 15) y que corresponde a las máximas desviaciones medias registradas durante varias pruebas de elaboración de pelets en laboratorio, existe una relación de correspondencia entre el hinchamiento y el grado de reducción, aunque ésta en algunos casos es algo diferente. En base a lo anterior, puede conocerse la reducibilidad junto con el hinchamiento; de cada cuatro pruebas, puede tenerse una idea bastante buena de la curva de reducción que se presenta.

Cuando se trata de pelets comerciales, cuyos índices de hinchamiento son menores que el 20% se ha demostrado estadísticamente, que una muestra de 18 pelets es suficiente para conservar la desviación standard menor que ± 1 unidades de hinchamiento, y un 95% de probabilidad.

Un buen pelet, deberá tener un grado de hinchamiento mayor al 20%, según las demandas que se les hacen. Además deberán tener un grado de reducción mínimo del 55% después de 60 min.



La reducibilidad también puede ser determinada por una prueba alemana V.D.E.h.*; ésta es una prueba isotérmica en la cual la reducción se efectúa a una temperatura de 900°C en atmósfera de CO/N₂ al 40/60%. Este método es el más usado en Europa no sólo para pelets sino también para sinter y otros minerales aglomerados, aquí R - 40 por ejemplo, es la velocidad de pérdida de oxígeno en un grado de reducción de 40% expresado en porciento de oxígeno perdido por minuto, siendo una medida de calidad para la reducibilidad.

La fórmula empleada para aproximar la velocidad de reducción es:

$$\frac{d R}{d t} \quad (1-R)$$

que después de integrar da una relación lineal y R -40 es precisamente el coeficiente de la pendiente. Dicha relación ha tenido varias y buenas aplicaciones para minerales aglomerados aunque en ocasiones suele haber algunas desviaciones en aglomerados quemados debidos a la porosidad y fases de escoria que dificultan la reducción. Sin embargo, para el caso específico de los pelets es mejor, después de un cierto tiempo fijo, teniendo el concepto de reducibilidad.

* Figura 16

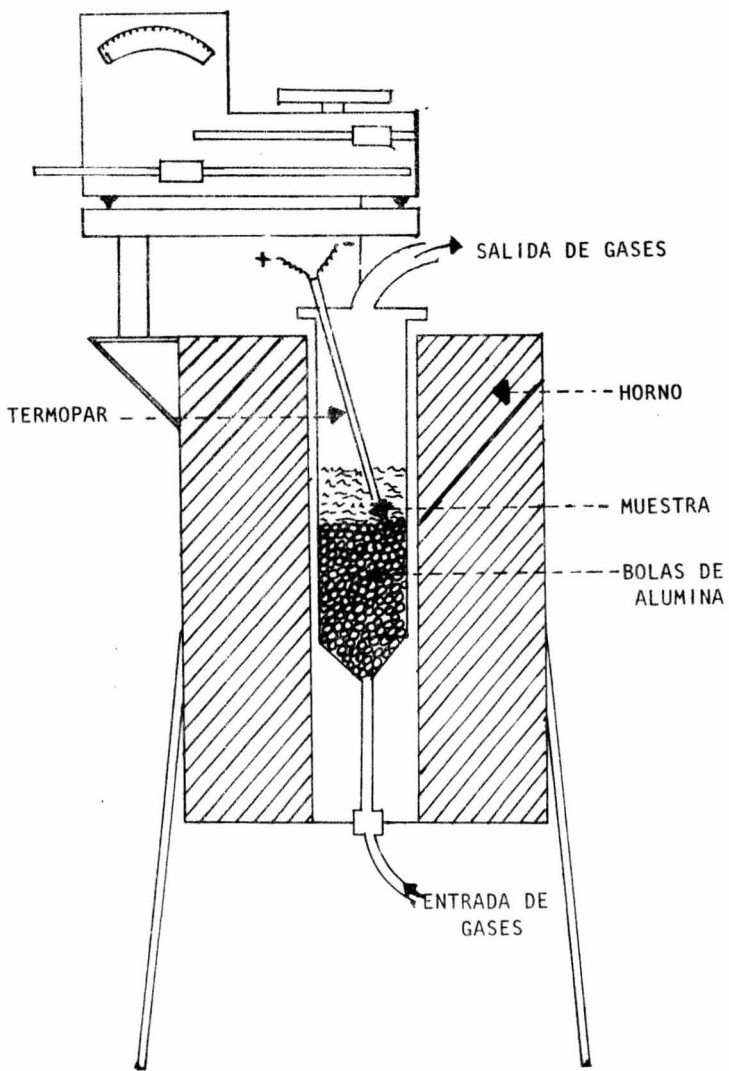


FIGURA 16.-APARATO DE LA VDEh.

Como se mencionó en un principio, el hinchamiento es un fenómeno que experimentan los pelets a altas temperaturas, debido a este aumento de tamaño y a los efectos que ello producía en la operación empleando este tipo de mineral, se inició un exhaustivo estudio de este fenómeno, iniciado por los japoneses y que en poco tiempo se extendió por todo el mundo.

El hinchamiento es una propiedad que se determina fácilmente en un aparato cuya parte esencial es un reactor en el cual uno o más pelets son calentados cuidadosamente en un sistema estático, y en el cual están sujetos a una ligera tensión mecánica. La temperatura, tiempo de calentamiento y medio reductor escogidos, muestran las condiciones bajo las cuales los pelets son susceptibles al hinchamiento y la tendencia a ello. El índice de hinchamiento es el promedio del cambio de volumen que puede determinarse de las dimensiones iniciales y finales de la o las muestras y medirse manual, mecánica o electrónicamente.

El proceso Japónes Gakushin (del cual hay varias versiones), es primordialmente una prueba de reducción y también puede emplearse para medir el hinchamiento de la siguiente manera: 500 gramos de muestra de pelets se colocan en un tubo vertical de acero inoxidable en un lecho de refractario, el tubo se coloca en el horno como se muestra en la figura 17 , y se

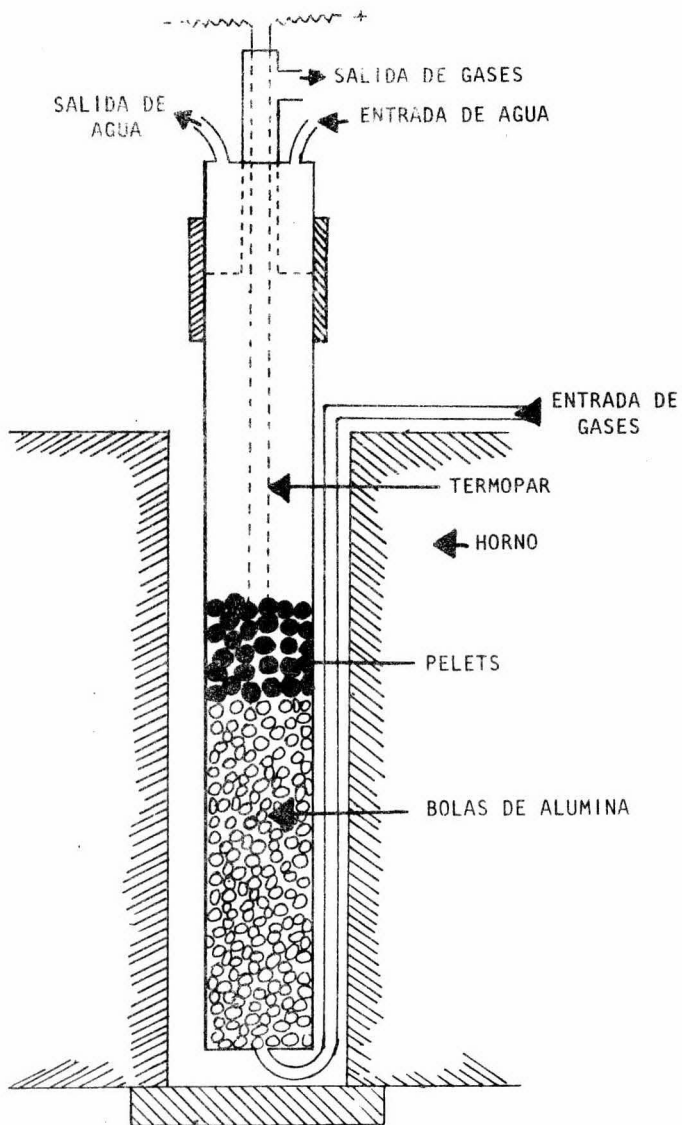


FIGURA 17.- APARATO GAKUSHIN

precalienta a 900°C con un gas inerte. A la temperatura de la prueba, se introduce el gas que es 30% CO y 70% N₂ a una razón de 15 l/min, y se continúa por 3 horas, después de las cuales se miden los cambios dimensionales a los pelets que no sufrieron rupturas.

Edstrom J.O. midió los siguientes cambios de volumen en cristales de hematita en un estudio de óxido-reducción de hierro:

Fase:	Fe ₂ O ₃	Fe ₃ O ₄	Wüstita	Fe
Volumen Aparente:	100	125	132	127

habiendo también observado un mayor hinchamiento cuando la muestra era reducida con un gas de alto potencial de reducción.

Se observó en un estudio reciente, que en pruebas hechas a 17 diferentes tipos de pelets comerciales (un sólo tipo de prueba), el máximo incremento en volumen, varió de un 11 hasta un 23%. Empleando otra técnica, el promedio de hinchamiento fue de 2.9 a 25.6%, considerándose normales los hinchamientos de éste tipo, y catastróficos aquellos que van del 25 al 100% o más aún. Se ha demostrado que la presencia de impurezas de calcio en estructuras hematíticas o magnetíticas promueven el swelling,

es decir la composición química del mineral primario es un factor determinante. (Figura 17)

III.7. Reducibilidad.

Es la habilidad de los minerales de hierro para liberar oxígeno al ser sometidas a la influencia de gases reductores bajo condiciones determinadas de presión y temperatura. Existen varios criterios para definir lo que es la reducibilidad; puede definirse como función del cambio de grado de oxidación por unidad de tiempo hasta que se llegue a un nivel de oxidación fijo, el cual suele ser de 40%; también se define en ocasiones como pérdida de oxígeno del mineral por unidad de superficie y por unidad de tiempo; o bien puede darse de otra manera como función de la cantidad de hierro producido por unidad de tiempo y por unidad de área. La reducibilidad es una propiedad importante en la caracterización de los materiales de carga. Existen en general dos tipos de ensayos para determinar la reducibilidad, estáticos (con la muestra en reposo) y dinámicos con la muestra en movimiento como el ensayo Linder; además las determinaciones pueden hacerse en base a ciclos térmicos complejos o isotérmicos, además puede variarse la composición del gas o mantenerla constante.

Los ensayos de tipo estático, se realizan a temperaturas que oscilan entre los 900 y 1000°C, con una composición

Los ensayos de tipo estático, se realizan a temperaturas que oscilan entre los 900 y 1000°C, con una composición de gases que va de 30 a 40% de CO y el resto de N₂ para completar el 100%; consiguiendo con esto despreciar las reducibilidades que pudieran suceder (y que de serlo serían mínimas) a temperaturas menores a estas; por otra parte la composición de gases en el ensayo es la más favorable para la reducción. Entre los ensayos más comunes de este tipo están, el Gakushin del que antes se había hecho mención y que es el principal aunque existan otros como el V.D.E.h.

Como ya se dijo, el método Gakushin se desarrolló en Japón como una forma de calificar la calidad de los pelets, de éste hay varias versiones cuya diferencia estriba en detalles solamente pero todos se efectúan de manera isotérmica a 900°C, con una muestra de 300 g seca hasta peso constante a 105°C, colocándola después en un cilindro vertical de acero inoxidable dentro del cual se calienta en atmósfera inerte a 900°C, la parte inferior del cilindro contiene bolas de alúmina que hacen el papel de precalentadores de gas, el gas es una mezcla de CO y N₂ que circula en el cilindro a 15 l/min.; a la salida del tubo, se analizan continuamente los gases para calcular la relación CO/CO₂ que permite conseguir la cinética de la reducción. Uno de los requerimientos que se hacen a los pelets comerciales, es que la extracción de oxígeno sea por lo menos del 60%. A partir de los datos de pérdida de peso de la carga y del análisis químico de la muestra

reducida durante 3 horas, se calcula el grado de oxidación.

Siendo un poco más descriptivo respecto al proceso, se tiene que en la parte inferior del tubo se coloca un lecho de bolas de alúmina de 700 g y cuyo diámetro es aproximadamente de 12 mm.; sobre éste se cargan 300 g de los pelets que han de ser sometidos a prueba; a la mitad de la carga de estos, se coloca el extremo del termopar; después se tapa el tubo con una parte refrigerada y desmontable; una vez tapada, se mete al horno de calentamiento pasando una corriente de N_2 de 5 l/min., mientras se alcanzan los $900^\circ C$, cuando se tiene ésta, se hace circular durante 3 hrs. una mezcla de 30% CO y 70% N_2 a razón de 15 l/min.; después de este tiempo, se vuelve a pasar N_2 a 5 l/min. hasta que la muestra se enfría hasta temperatura ambiente, luego se pesa la muestra y la diferencia en peso con los 300 g originales se toma como el peso de oxígeno reducido.

El método V.D.E.h. es también estático e isotérmico, la diferencia es que en éste método, en base a la pérdida de peso, se sigue la cinética de las reacciones, el cambio de peso se determina continuamente durante el proceso. La muestra inicial es de 500 g de mineral colocados sobre un lecho de bolas de alúmina en un tubo de 97 mm. de diámetro y separa una rejilla a la muestra de mineral de las bolas de alúmina. Una vez cargado el tubo, se suspende verticalmente de una balanza de 1Kg. de exactitud bajo carga constante de 9 Kg. y se introduce en el horno de

calentamiento; la temperatura empleada es la misma del método Gakushin (900°C), también se hace pasar N₂ mientras se llega a esa temperatura, pero aquí la atmósfera de reducción cambia a 40% de CO y 60% N₂, la cual se hace pasar hasta que no se observa el cambio en el peso, después se enfría la muestra haciendo circular nitrógeno nuevamente, como resultado de éste método el tiempo de reducción empleado, varía entre 2 y 2:30 hrs. (Figura 17)

Método Linder

El método Linder es un método dinámico para reducibilidad y consiste en introducir 500 g de pelets junto con 200 g de coke, teniendo ambos un tamaño que varía entre 3 y 4 cm., en un tubo de 13 cm. de diámetro, el cual va horizontalmente suspendido en un horno de tipo eléctrico; el tubo gira a 30 rpm. durante 5 horas que da el ciclo durante el cual la temperatura y composición de los gases empleados, se toman conforme a programas establecidos. (Figura 18)

En las dos primeras horas, la temperatura se incrementa desde 20°C hasta 700°C, a una velocidad calculada de 5.66°C/min.; en las tres horas restantes la temperatura aumenta de 700°C a 1000°C a una velocidad mucho menor y de 1.66°C/min., la composición de los gases empleados durante las diferentes etapas es la siguiente:

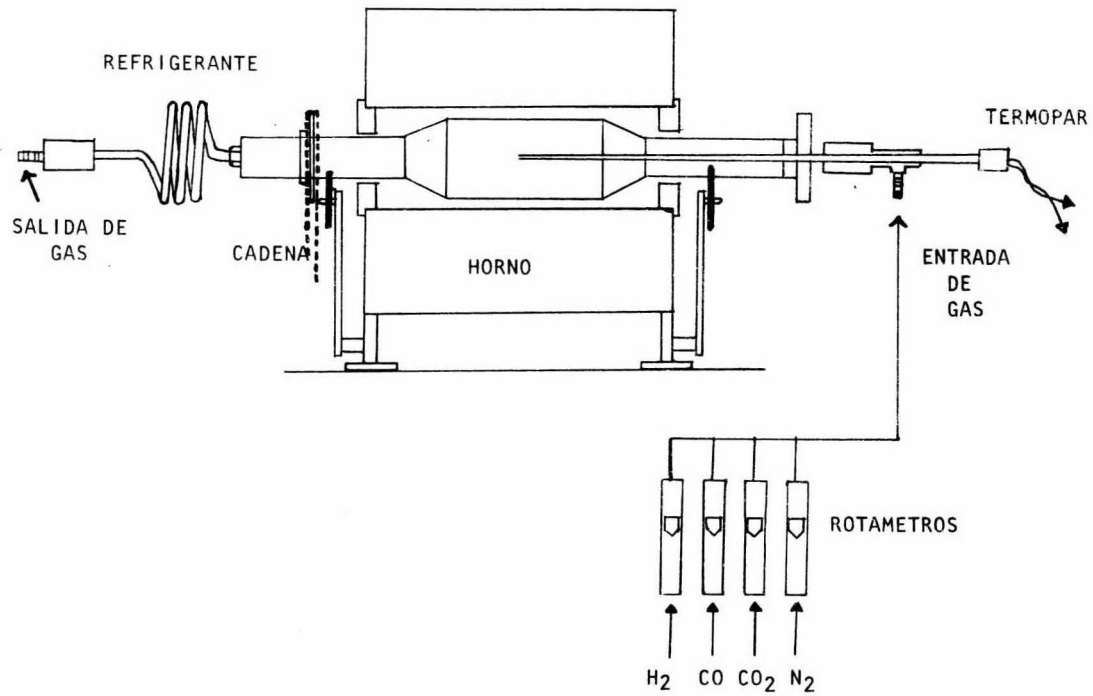


FIGURA 18.- APARATO LINDER

1a. y 2a. hr.	30.0% CO	10.0% CO ₂	0.5% H ₂	completar 100%N ₂
3a. y 4a, hr.	31.5% CO	5.0% CO ₂	0.5% H ₂	" " "
5a. hr.	32.5% CO	2.0% CO ₂	0.5% H ₂	" " "

Una vez concluida la prueba y al igual que en pruebas anteriores, la muestra se enfría en una atmósfera inerte (N₂), posteriormente se desaloja del tubo y se separa a mano del coke. Después de pasar por un clasificador, la muestra reducida se somete a un análisis químico, el cual nos dá el grado de oxidación final mediante la siguiente ecuación:

$$100 - 1 - \frac{\text{Fe}^{++}}{3\text{XFe total}} - \frac{\text{Fe metálico}}{\text{Fe total}}$$

Las etapas de diferentes temperaturas y composición de gases, fueron tomadas por Linder para aplicarse a las condiciones de los altos hornos suecos.

La simulación de operación de diferentes tipos de hornos, puede ser posible variando solamente la duración de las etapas y la composición de los gases empleados en éstos.

Cabe mencionar que en el experimento original de Linder, la velocidad de flujo de los gases fue de 15 l/min. pero que

en la prueba modificada, el flujo aumentó a 20 l/min.

Esta prueba se emplea comúnmente como una prueba comparativa y nos muestra además de la reducibilidad, una idea de los resultados de las pruebas mecánicas de la muestra durante la reducción. Sin embargo, con esta prueba no se puede obtener información respecto de la cinética de la remoción de oxígeno en un instante dado, y también tiene el inconveniente del tiempo que toma la muestra para enfriarse en una atmósfera inerte.

Las diferencias que pueden presentarse en los resultados obtenidos con la misma prueba, pueden ser debidas a errores cometidos durante la determinación analítica de hierro libre en el material parcialmente reducido y también en la determinación de hierro ferroso y férrico mezclados, lo cual es bastante complicado.

A pesar de las ventajas que los métodos estacionarios para medir la reducibilidad de pelets ofrecen, también tienen algunos inconvenientes cuando la prueba requiere ser comparativa ya que durante la reducción del material, las condiciones difieren de los de la prueba, tanto por el movimiento al cual está sujeta la carga como a la uniformidad de calentamiento y capacidad de reducción de la atmósfera presente; en estas

condiciones, el ensayo Linder presenta algunas ventajas sobre otros métodos en tal sentido, pero presenta también ciertas desventajas al comparar los resultados de éste con los reales, principalmente por presentar la limitación de no tener una buena similitud de contacto entre sólido y gas.

III.8. Conclusiones y Recomendaciones.

Puede tomarse como una conclusión entre otras, a este trabajo que dada la limitación y baja calidad de materias primas o minerales de hierro, la industria siderúrgica no sólo nacional sino mundial, se ve en la necesidad de enriquecer e incrementar la calidad del producto mineral para lograr con ello obtener un mejor material de carga tanto para procesos de alto horno como para los procesos no convencionales; además de la creciente demanda que últimamente se ha observado en el hierro esponja, debido a las magníficas ventajas que ofrece, dadas sus características; a continuación se muestran los datos estimados de la producción de pelets en el mundo:

PRODUCCION MUNDIAL DE PELETS

	U.S.A. T	OTROS PAISES	TOTAL MUNDIAL
En 1965	30 000 000	22 000 000	52 000 000
En 1975	71 000 000	119 000 000	190 000 000

Como puede observarse, el incremento en la producción mundial de pelets en diez años es de casi cuatro veces; excluyendo a Estados Unidos en el mismo intervalo, el incremento fue de 5.4 veces respecto al valor de 1965. Con esto puede darse una mejor idea del auge que cada día adquiere la peletización.

Sin embargo la producción de pelets, requiere de un buen control para lograr una mejor calidad y optimizar de esta manera los procesos empleados para la elaboración de los pelets, así como la producción de acero a partir de la información que nos proporcionen los resultados de las pruebas que se efectúan a dichos pelets.

Dependiendo de la finalidad para la que haya sido producido el pelet, pueden ser mejores unas u otras pruebas de control, esta recomendación es importante, pues las características del pelet destinado a cargar un alto horno difieren de aquellos que correspondan a pelets cuyos fines sean otros.

La importancia de las pruebas realizadas es muy grande para todas y cada una; una falla en la determinación de alguna de ellas, puede acarrear serios problemas durante la fundición.

La porosidad es un factor de vital importancia pues de él dependen tanto una buena reducibilidad como resistencia

física, por tales razones deberá tenerse especial cuidado en este punto; es recomendable poner especial énfasis en la determinación de los valores de las variables relacionadas con los cálculos pues de ellas, depende el buen desarrollo de ésta característica por cualquiera de los dos primeros métodos mencionados en la sección correspondiente, los cuales son muy semejantes.

La basicidad es una prueba también muy importante, sobre todo por el efecto que esta representa sobre los refractarios del equipo de fundición; ésta determinación tendrá mayor o menor éxito dependiendo de la exactitud del análisis químico; y debido a las técnicas analíticas tan modernas, rápidas y exactas empleadas en la actualidad, esta prueba presenta cierta facilidad.

El hinchamiento es un factor muy delicado y tal vez el más de todos pues de una u otra manera, en este se conjuntan todos los factores. En general, todos los métodos empleados para determinar este fenómeno. son esencialmente similares y la diferencia entre valores obtenidos con estos, es muy pequeña; sin embargo, el método de LKAB, presenta la ventaja de proporcionar además una idea de la reducibilidad, el aparato V.D.E.h. es bueno si se desea dar un especial enfoque al cambio de peso del material durante ésta, y el Método Gakushin nos mide tanto reducibilidad como hinchamiento en base al cambio de volumen, siendo estos dos

últimos estáticos, podría ser recomendable el método V.D.E.h. debido a la exactitud que ofrece el aparato, sin decir con esto que los otros no sean buenos.

Si se desea dar a la prueba de reducibilidad un enfoque dinámico con objeto de dar al pelet características mejores para carga de un alto horno, se recomienda el aparato Linder.

Por último, una recomendación que puede traer buena información y resultados que pueden ayudar a progresos en esta técnica de peletización, es hacer pruebas a pelets de otras partes del mundo destinados al mismo efecto, hacer comparaciones con los pelets del lugar producido, tratar de encontrar las causas que conducen a estas diferencias y mejorarlas para incrementar de ésta manera, la calidad de nuestros pelets.

CARACTERISTICAS DEL PELET PRODUCIDO EN LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

CARACTERISTICAS	UNIDADES	ALTOS HORNO DE MEXICO S.A.	CONSORCIO MINERO BENITO JUAREZ-PEÑA COLORADA S.A.	HOJALATA Y LAMINA S.A.
<u>QUIMICAS</u>				
Contenido de Fe	%	63.40	66.500	66.791
Contenido de P	%	0.35	0.060	0.044
Contenido de S	%	0.01	0.002	0.020
Contenido de CaO	%	2.00	0.360	} 4.660
Contenido de MgO	%	0.22	0.320	
Contenido de Al ₂ O ₃	%	0.71	0.620	} 4.660
Contenido de SiO ₂	%	3.29	2.430	
Basicidad	-	0.56	0.22	1.11
<u>FISICAS</u>				
Peso Volumétrico	Ton/m ³	-	2.2	2.1
Densidad	Ton/m ³	3.2	2.1	3.6
Resistencia a la Compresión.	Kg/pelet	409-230 (1)	350	437
Indice de degradación	%	3.0	4.8	4.42
Porocidad	%	34.5	26	24.92
<u>GRANOLOMETRIA PROMEDIO</u>				
X > 2.22 cm.	%	2	-	1
X > 1.59 cm.	%	8	9	17
X > 0.95 cm.	%	94	94	97
X > 0.64 cm.	%	100	100	100

(1) Empleando como aglutinante una mezcla de cal y bentonita se obtiene el valor elevado, el otro se obtiene empleando únicamente bentonita.

Los datos omitidos no fueron encontrados disponibles.

PRODUCCION E INSUMOS EN PROCESOS DE PELETIZACION DE MINERAL DE HIERRO

EMPRESA: HOJALATA Y LAMINA S.A.

PLANTA: ALZADA, COLIMA

C O N C E P T O	UNIDADES ANUALES	A Ñ O S					
		1970	1971	1972	1973	1974	1975
<u>PRODUCCION DE PELETS</u>	10 ³ Ton.	735.307	834.587	1301.711	1362.086	1462.093	1287.220
<u>MANO DE OBRA (1)</u>							
i) Operación	10 ³ HH	50	50	50	56	56	52
ii) Mantenimiento	10 ³ HH	50	50	50	48	46	45
<u>INSUMOS</u>							
i) Mineral Concentrado(2)	10 ³ Ton.	761.558	835.713	1307.595	1354.652	1447.891	1268.476
ii) Cal	10 ³ Ton.	8.61	11.13	13.01	16.04	21.50	19.74
iii) Energía Eléctrica	10 ³ KWH	47000.00	50000.00	66000.00	72000.00	77000.00	68597.10
iv) Combustóleo	10 ³ m ³ .	17.35	24.65	20.33	20.03	20.80	20.03
v) Agua	10 ³ m ³ .	278.64	313.20	489.00	516.16	554.06	439.30

(1) No se incluye personal de supervisión, ingeniería, servicios y administración.

(2) Coeficiente tecnológico promedio de mineral triturado a concentrado= 1.23.

PRODUCCION E INSUMOS EN PROCESOS DE PELETIZACION DE MINERAL DE HIERRO

EMPRESA: CONSORCIO MINERO BENITO JUAREZ-PEÑA COLORADA S.A.

PLANTA: TEPEIXTLLES, COLIMA

C O N C E P T O	UNIDADES ANUALES	A Ñ O
		1 9 7 5 (1)
<u>PRODUCCION DE PELETS</u>	10 ³ Ton.	1115.23
<u>MANO DE OBRA</u>		
i) Operación	10 ³ HH	105.08
ii) Mantenimiento	10 ³ HH	119.28
<u>INSUMOS</u>		
i) Mineral Concentrado ⁽²⁾	10 ³ Ton.	1088.99
ii) Cal	10 ³ Ton.	11.99
iii) Bentonita	10 ³ Ton.	2.46
iv) Energía Eléctrica	10 ³ KWH	48202.00
v) Combustóleo	10 ³ l	18125.00
vi) Agua	10 ³ m ³	---

Los datos omitidos no fueron encontrados disponibles.

(1) No se incluyen los datos del mes de diciembre de 1974 en que arrancó la planta. La producción en dicho mes fue de 55 970 Ton.

(2) Coeficiente Tecnológico de mineral triturado a concentrado=1.49.

PRODUCCION E INSUMOS EN PROCESOS DE PELETIZACION DE MINERAL DE HIERRO

EMPRESA: ALTOS HORNOS DE MEXICO, S.A.

PLANTA: CAMARGO, CHIHUAHUA

C O N C E P T O	UNIDADES ANUALES	A Ñ O S	
		1 9 7 1 (1)	1 9 7 5
<u>PRODUCCION DE PELETS</u>	10 ³ Ton.	54.44	300.56
<u>MANO DE OBRA</u>			
i) Operación	10 ³ HH	38.03	181.55
ii) Mantenimiento	10 ³ HH	24.44	64.40
<u>INSUMOS</u>			
i) Mineral Concen- trado.	10 ³ Ton.	56.11	514.88
ii) Cal	10 ³ Ton.	-	3.86
iii) Bentonita	10 ³ Ton.	-	5.67
iv) Energía Eléctrica	10 ³ KWH.	-	12359.56
v) Combustóleo	10 ³ l	-	-
vi) Agua	10 ³ m ³	81.70	252.08

Los datos omitidos no fueron encontrados disponibles.

(1) Inició sus operaciones en Mayo de 1974.

MOVIMIENTOS DE MINERAL DE HIERRO Y PELET

EMPRESA: HOJALATA Y LAMINA S.A.

(10³ Ton.)

C O N C E P T O	A Ñ O S					
	1970	1971	1972	1973	1974	1975
<u>MINERAL DE HIERRO</u>						
<u>ORIGENES</u>						
Producción Disponible	907.00	1735.00	1571.00	1771.00	1821.00	1499.00
Compras Domésticas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Compras de Importación	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Disponible	907.00	1735.00	1571.00	1771.00	1821.00	1499.00
<u>DESTINOS</u>						
Consumo	925.35	998.41	1591.46	1698.62	1778.37	1492.86
Ventas	202.00	203.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Utilizado	1127.35	1201.41	1591.46	1698.62	1778.37	1492.86
Diferencia	-220.35	533.59	- 20.46	72.38	42.63	6.14
<u>PELET</u>						
<u>ORIGENES</u>						
Producción Disponible	735.31	834.59	1301.71	1362.09	1462.09	1287.22
Compras Domésticas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	311.14
Compras de Importación	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Disponible	735.31	834.59	1301.71	1362.09	1462.09	1598.36
<u>DESTINOS</u>						
Consumo	715.28	781.12	886.63	850.41	996.43	1041.85
Ventas	1.40	61.25	312.00	247.00	530.34 (1)	81.55
Total Utilizado	703.45	842.37	1198.63	1097.41	1526.77	1123.42
Diferencia	31.86	-15.86	107.79	264.68	-64.68	474.94

(1) Incluye 323 340 Ton. que Tubos de Acero de México S.A., informa haber comprado a esta empresa.

MOVIMIENTOS DE MINERAL DE HIERRO Y PELET

EMPRESA: ALTOS HORNOS DE MEXICO S.A.

(10³ Ton.)

C O N C E P T O	A Ñ O S					
	1970	1971	1972	1973	1974	1975
<u>MINERAL DE HIERRO</u>						
<u>ORIGENES</u>						
Producción Disponible	1493.38	1633.62	1809.84	1906.16	1992.88	1641.31
Compras Domésticas	188.22	384.26	17.20	89.58	470.27	311.95
Compras de Importación	85.84	90.85	56.20	0.00	0.00	0.00
Total Disponible	1767.44	2108.73	1883.24	1995.74	2463.15	1953.26
<u>DESTINOS</u>						
Consumo	1713.17	1828.74	2186.93	2198.31	2785.02	2230.92
Ventas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Utilizado	1713.17	1828.17	2186.93	2198.31	2716.63	2230.92
Diferencia	54.27	279.99	-303.69	-202.57	-321.87	-277.66
<u>PELET</u>						
<u>ORIGENES</u>						
Producción Disponible	0.00	0.00	0.00	0.00	-	300.56
Compras Domésticas	0.00	0.00	0.00	0.00	-	641.70
Compras de Importación	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Total Disponible	0.00	0.00	0.00	0.00	-	942.26
<u>DESTINOS</u>						
Consumo	0.00	0.00	0.00	0.00	-	774.17
Ventas	0.00	0.00	0.00	0.00	-	3.06
Total Utilizado	0.00	0.00	0.00	0.00	-	777.23
Diferencia	0.00	0.00	0.00	0.00	-	165.03

(1) No se registran con precisión los movimientos de pelet en este año. En las cifras de compras domésticas se incluyen 202 001.78 Ton. de pelet compradas a HyLSA expresadas en toneladas de mineral de hierro equivalente.

RESERVAS TOTALES DE MINERAL DE HIERRO EN LOS

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

(10³ Ton.)

E M P R E S A		POSITIVAS	PROBABLES	POSIBLES
ALTOS HORNOS DE MEXICO S.A.	(1)	113 450	17 600	23 000
FUNDIDORA MONTERREY S.A.	(1)	77 820	46 460	60 920
HOJALATA Y LAMINA S.A.	(1)	71 310	22 570	210 600
SIDERURGICA LAZARO CARDENAS-LAS TRUCHAS S.A.	(1)	105 600	11 600	0
TUBOS DE ACERO DE MEXICO S.A.	(1)	17 140	1 020	0
YACIMIENTOS DE PRIMER ORDEN NO ASIGNADOS	(2)	26 010	12 696	19 922
YACIMIENTOS DE SEGUNDO ORDEN NO ASIGNADOS	(2)	15 162	24 328	6 226
T O T A L:		426 492	136 274	320 668

(1) Datos proporcionados por las empresas a Enero de 1976.

(2) Datos proporcionados por el CRNNR a Agosto de 1974.

REFERENCIAS

- Armco Steel Corporation, Compedium Testing of Iron Ores and Pellets, Middle Town, Ohio.
- Asencio, F.J., Propiedades de los materiales que forman la carga del horno alto, Revista de Metalurgia, Cenim, Vol. 4, No. 6, 1968.
- Asencio, F.J. y A. Formoso, Calidad siderúrgica de minerales y aglomerados, Revista de Metalurgia, Cenim, Vol. 9, No. 3, 1973.
- A.S.T.M. B331-64 (Reapproved 1970), Standard Method of Test for Compressibility of Metal Powders, Agosto, 1964.
- A.S.T.M. E382-72, Standard Method of Test for Compression Strength of Iron Ore Pellets, Febrero, 1972.
- Ball, D.F., J. Dartnell, J. Davison, A. Grive, R. Wild, Agglomeration of Iron Ores, Heinemann Educational Books Limited, London, 1973.
- Bassu, S.N. and A. Ghosh, Influence of Porosity on the Kinetics of Reduction of Hematite by Hydrogen, Journal of Iron and Steel Institute, August, 1970.
- Bjorkvall, Borje and Gunnar Thaning, Test Methods for Pellets used in Research and Production al Lkab, Sweden, Lkab Central Division for Methallurgical Research Malmberget, Sweden, 1972.

- Dartnell, J., Effect of Burden Quality on Furnace Productivity and Efficiency, Journal of the Iron and Steel Institute, March, 1969.
- Fundidora Monterrey, S.A., Descripción General del Proceso de Peletización y Características Principales de la Planta Peletizadora de Fundidora Monterrey S.A., Monterrey, N.L., Octubre 1974.
- Gearhart, H.E. and K.A. Jackson, Production of Metallized Pellets by the H. y L. Process, Iron and Steel Engineer, March, 1971.
- Hernández Carlos y Abel Domínguez Ponce, Beneficio de Minerales de Hierro para SICARTSA.
- H.Y.L.S.A. Las Encinas, S.A. Publicación, H.Y.L.S.A. Monterrey N.L.
- I.L.A.F.A., América Latina cuadruplicará producción de Pellets hacia 1980, Materias Primas y Energía, No. 188, Secretaría general de I.L.A.F.A., Diciembre, 1975.
- International Organization for Standardization Technical Committee, Increment Sampling Method for Iron Ores, 102-Iron Ores, Seventh Draft Iso Proposal, Noviembre, 1969.
- Kraus and Hunt, Tables for the Determination of Minerals, Mc Graw-Hill Book Company Inc., 1930.

- López, Z. Benildo, Descripción del Proceso de Peletización, Publicación H.Y.L.S.A., Alzada, Col.
- Mancillas, Rodriguez Horacio, Planta Peletizadora de SICARTSA, Publicación de SICARTSA.
- Ogazawara, Tsuneharu, Flavio T. Da Silva, Roger Hill Parker, Metodos de Estudio do Comportamento de Pelotas de Minério de Ferro durante a Redução com um agente Reductor Gasoso, COPPE/-UFRJ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Jun, 1972.
- Pérez-Rosales C.; Un Método simplificado para determinar superficie específica, Revista del I.M.P., Enero, 1970.
- Secretaría de la Presidencia, La Industria Siderúrgica Integrada de México (Primera parte: Resumen estadístico 1970 a 1975) Dirección General de Inversiones Públicas, Oficina de Estudios Sectoriales, México, 1976.
- Strassburger Brown, Stephenson and Dancy, Blast Furnance-Theory and Practice, Vol. 1 y 2, Ed. Gordon and Breach, 1969.
- U.S. Steel, The Making, Shaping and Treating of Steel, 1974.
- Von Bogdandy, L., H.J. Engell, Reduction of Iron Ores.