

BENEFICIO DE UNA MAGNETITA PARA PRODUCCION DE PELETS UTILIZADOS EN PROCESOS DE REDUCCION DIRECTA

Benefice of a magnetite for pelets production used in direct reduction process

RESUMEN

Se pretende caracterizar y concentrar un mineral de magnetita para producción de pelets vía RD -horno rotatorio para lo cual se diseñó y construyó un concentrador magnético. El mineral concentrado fue caracterizado química y físicamente, se aglomeró, obteniéndose pelets en tamaños normalizados. Estos fueron hematizados, debido a que la magnetita por ser poco permeable a procesos de reducción necesita de dicha transformación. Luego se sometieron a un proceso de reducción directa en el Horno Linder obteniendo un prerreducido de hierro que tiene un grado de metalización aceptable teniendo en cuenta las condiciones iniciales del mineral.

Palabras claves: Concentrador, endurecimiento térmico, magnetita, pelets, reducción directa.

Abstract

It is intended to characterize and to concentrate a magnetite ore for production of pelets road RD - the rotatory furnace oven for which designed itself and constructed a magnetic concentrator. The concentrated ore was characterized chemical and physically, it agglomerated, obtained pelets in normalized sizes. These were hematizade, because the magnetite to be little permeable to processes of reduction requires the aforementioned transformation. Next they submitted to a process of direct reduction in the furnace Linder getting a prerreduced from iron that has a degree of acceptable metallization taking into account the initial conditions of the ore.

KEYWORDS: Concentrator, direct reduction, heat treatment, magnetite, pelets.

1. INTRODUCCIÓN

Para la caracterización del mineral de magnetita el análisis petrográfico ayuda a la identificación de los componentes mineralógicos presentes en la muestra. La petrografía utiliza técnicas de luz transmitida y luz reflejada, para caracterizar especies mineralógicas translúcidas y opacas respectivamente. En el análisis químico se determinan las cantidades en porcentaje de los elementos presentes en la muestra por técnicas de análisis volumétrico. Por medio de esta técnica se busca establecer la cantidad o concentración en que se encuentra una sustancia específica en una muestra. El análisis por espectrometría de absorción atómica complementa los resultados de su composición química, al igual que lo obtenido por microscopía electrónica de barrido, lográndose así su caracterización química.

La concentración magnética de minerales reviste gran importancia dentro de las operaciones del beneficio de minerales. Se fundamenta en la propiedad física que tiene

la magnetita de ser permeable naturalmente al magnetismo.

La sustitución parcial de la chatarra por prerreducidos para la producción de acero en las siderúrgicas del país, plantea como alternativa la utilización de mineral de magnetita ubicado en la región de Payandé en el departamento del Tolima. Luego de elaborar los pelets a partir del concentrado de magnetita, estos fueron hematizados (endurecimiento térmico) y adecuados químicamente para la obtención del prerreducido, el cual también fue caracterizado para establecer el grado de metalización y en general su composición química.

1. PELETIZACIÓN [1]. El proceso de peletización tiene especial importancia para minerales de hierro, ya que los pelets constituyen una materia prima de excelentes propiedades para los hornos de reducción directa. En el caso de la peletización de finos de mineral de hierro, se peletizan minerales concentrados o minerales de alta ley sin concentrar, finamente molidos.

ALVARO H. FORERO P.

Esp. Ing. Metalúrgico
Director Grupo de Materiales
Siderúrgicos
UPTC
alher31@hotmail.com

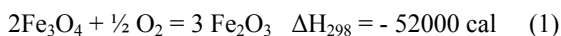
SANDRA C. DIAZ B.

Ing. Metalúrgica
Joven Investigadora GMS
UPTC
sancondibe@yahoo.es

El proceso de rodadura da como resultado la formación de los denominados pelets verdes, los cuales a continuación son sometidos a un proceso térmico de endurecimiento (piro consolidación), a fin de otorgarles la resistencia mecánica necesaria para su utilización.

Pelets de concentrados de magnetita.

Durante el calentamiento en atmósfera oxidante tiene lugar la siguiente reacción exotérmica:



Como consecuencia del calor liberado por esta reacción, la temperatura en el núcleo de los pelets es mayor que la temperatura en la superficie de los pelets y la temperatura media del horno. Con este aumento de temperatura, aumenta la dureza de los mismos.

Según sea la temperatura de calentamiento y el potencial oxidante de la atmósfera se distinguen los siguientes casos:

a. A temperatura de 200-300° C en atmósfera oxidante:

Unión por medio de puentes formados por cristales nuevos de hematita en los puntos de contacto entre partículas parcialmente oxidadas.

b. A temperaturas entre 1100 –1250° C en atmósfera oxidante:

Unión más fuerte entre partículas totalmente oxidadas debido a la recristalización completa y crecimiento de grano de la hematita.

c. A temperaturas de aprox. 900° C en atmósfera neutra o con muy bajo potencial de oxígeno:

Unión de partículas de magnetita que no llegaron a oxidarse. Sobre la superficie de las partículas comienza la recristalización de la magnetita con crecimiento de grano.

d. A temperaturas de 1100- 1200° C en atmósfera con muy bajo potencial de oxígeno:

En presencia de suficiente cantidad de ganga se forma una escoria, por ejemplo silicatos (como en el caso de los pelets ácidos) la cual extiende sobre la superficie de las partículas pudiendo impedir el progreso de la oxidación. En este caso, durante el enfriamiento de los pelets, tiene lugar la unión de las partículas por adherencia, a través de la escoria. Este tipo de unión, sin embargo, es de menor resistencia que las uniones por recristalización.

Se define como reducción directa (RD) al proceso por el cual se produce hierro metálico por medio de la reducción del mineral de hierro, por debajo de la temperatura de fusión de cualquiera de los materiales involucrados [2].

El producto de la reducción directa recibe el nombre de hierro directamente reducido (HDR), conocido como hierro esponja (HE) el cual se define como hierro en

forma porosa o que contiene muchos espacios gaseosos; específicamente es hierro crudo obtenido sometiendo la mena de óxido a una reducción gaseosa sin fundir. Este hierro esponja puede refinarse directamente para producir acero en un horno de manufactura eléctrica o utilizarse en metalurgia de polvos. [3]

Dentro de la reducción directa de pelets de hematita se llevan a cabo cinco etapas cinéticas importantes [4][6]:

- Transferencia de masa del reductor a través de la capa límite externa de la muestra esférica.
- Difusión del reductor a través de la capa del prerreducido.
- Reacción interfacial.
- Difusión del producto gaseoso a través de la capa del producto sólido
- Transferencia de masa del producto gaseoso a través del límite de la capa.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las muestras de mineral de magnetita fueron caracterizadas determinándose 42,33% de hierro presente en las mismas. El mineral fue triturado, molido y pulverizado hasta obtener un tamaño granulométrico de 100 mallas. Estos finos se beneficiaron en un concentrador magnético tipo tambor, obteniendo 52,21% de material sin ganga. Luego se procedió a realizar la mezcla para la posterior peletización de la siguiente forma:

Se tomaron 500 gramos de mineral, 100 gramos de bentonita, 30 gramos de caliza y 243,47 gramos de carbón, el cual se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Peso del carbón} = \frac{(\text{C/Fe} \times \text{Fe}_1 \text{ mineral}) \times (100 - \text{H}_2\text{O mineral}) \times \text{Peso mineral}}{\text{C. F. (carbón)} \times (100 - \text{H}_2\text{O carbón})} \quad (2)$$

La peletización se llevó a cabo en un disco peletizador con las siguientes características [5]:

- Angulo de inclinación 47°
- Revoluciones por minuto 18 rpm.
- Diámetro del disco 60cm
- Altura de la pared 10cm
- Alimentación 200 g/min.
- Flujo de agua 25 – 32 ml / min.

El agua adicionada fue del 12% teniendo en cuenta la densidad de la magnetita, obteniendo así pelets entre 10 y 12 mm de tamaño con un peso aproximado de 8 g en verde.

Para evitar la destrucción en el transporte, carga, y procesamiento en los reactores de reducción, los pelets verdes de mineral de hierro son sometidos a un proceso

térmico de endurecimiento. De esta manera, estos aumentan diez veces el valor de su resistencia mecánica.

El endurecimiento térmico en los pelets verdes de magnetita es muy importante, ya que no solo influye en el aumento de la resistencia mecánica de los mismos, sino que lo transforma de magnetítico a hematítico, haciendo que la reducción sea mejor; además, debe tenerse en cuenta que un pelet de magnetita no se reduce en su totalidad debido a que esta es muy densa y no permite que el agente reductor se difunda lo suficiente, sino que provoca una contracción del 4 -5%.

Un pelet de hematita puede reducirse fácilmente provocando un aumento de volumen de un 25 -27 % lo cual demuestra que tiene una excelente reducibilidad.

El endurecimiento térmico se hizo en una mufla en atmósfera oxidante a una temperatura de 1100° C con una duración de 5 horas aproximadamente.

Después del endurecimiento térmico los pelets fueron llevados al proceso de reducción directa en el horno Linder de la UPTC. Este proceso de reducción tuvo una duración de 3 horas aproximadamente.

Se cargaron al horno 500 gramos de mezcla (mineral, bentonita y caliza) y 243 g de carbón con un tamaño de 5-7 mm con el fin de facilitar el contacto de la superficie del pelet y el agente reductor. Se realizaron 10 marchas, las cuales dieron como resultado prerreducido al cual se le realizó análisis químico y microscópico. En la siguiente fotografía se pueden apreciar las diferentes etapas llevadas a cabo en este proceso desde el mineral de magnetita en bruto hasta su correspondiente prerreducción.

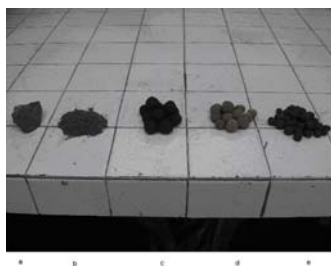


Figura 1. Etapas del proceso desde el mineral en bruto hasta su prerreducción a. Mineral en bruto, b. Magnetita concentrada, c. Pelets de magnetita, d. Pelets endurecidos térmicamente, e. Prerreducidos obtenidos

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis químico realizado al mineral procedente de Payandé, dio como resultado una composición química del 42.33% de Fe. El mineral de magnetita se concentró al 52.21%, del cual se obtuvo un contenido de hierro del 51.76%, es decir 71,48% de magnetita.

La siguiente etapa fue la peletización de los finos de magnetita obteniéndose un porcentaje de hierro del 43.7%, cantidad que indica una disminución debido a la presencia de los demás constituyentes del pelets.

En los pelets endurecidos térmicamente, es decir, transformados a hematita encontramos en el análisis químico un porcentaje de hierro del 30 % y de hematita 39,15%, lo que se indica en la tabla 1.

Compuesto	Porcentaje (%)
FeO	3.33
SiO₂	28.342
Al₂O₃	0.275
CaO	22.45
MgO	1.238
TiO₂	0.158
Fe₂O₃	39.155
MnO	0.62
Fetotal	30

Tabla 1. Composición química del pelet endurecido térmicamente

El prerreducido de hierro obtenido en el horno linder fue analizado químicamente obteniéndose la composición para las diez muestras tratadas y se encuentra referido en la tabla 2.

Muestra N°	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Elemento										
Al ₂ O ₃	0.36	0.39	0.38	0.35	0.34	0.37	0.37	0.36	0.38	0.38
SiO ₂	11.35	13.12	12.33	10.84	10.36	12.18	11.9	11.09	12.64	12.48
CaO	8.90	10.39	9.77	8.58	8.21	9.65	9.42	8.78	10.01	9.89
MgO	1.63	1.76	1.70	1.63	1.56	1.69	1.67	1.62	1.73	1.71
TiO ₂	0.20	0.225	0.21	0.20	0.20	0.21	0.21	0.20	0.22	0.219
MnO	0.82	0.88	0.85	0.80	0.78	0.85	0.84	0.81	0.86	0.86
FeO	9.40	9.73	9.59	9.3	9.21	9.56	9.51	9.35	9.65	9.72
Fe metálico	48.51	52.53	50.78	47.3	46.13	50.44	49.78	47.9	51.46	51.02
Fe Total	57.91	62.26	60.37	56.60	55.34	60.0	59.29	57.25	61.11	60.74
Grado de metalización	83.76	84.37	84.11	83.05	83.35	84.0	83.96	83.66	84.2	83.99

Tabla 2. Composición química del prerreducido obtenido en el Horno Linder de las 10 muestras tratadas

El promedio en el grado de metalización para las diez muestras fue de 83.845 % lo que indica que la reducción del hierro de mineral de magnetita es aceptable teniendo en cuenta sus condiciones iniciales.

GRÁFICO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

En figura 2 se observa el grado de metalización de las 10 muestras tratadas y el porcentaje de hierro metálico obtenido en el proceso de reducción.

A partir de este gráfico se determina que las diez muestras tuvieron un porcentaje en el grado de metalización muy similar al igual que el porcentaje de hierro metálico, de lo cual concluimos que las muestras son buenas para la obtención de prerreducido.

1. Las notas de pie de página deberán estar en la página donde se citan. Letra Times New Roman de 8 puntos

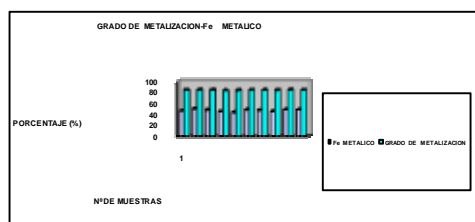


Figura 2. Grafico Análisis de resultados. Grado de metalización – Fe Metálico.

En la Figura 3 se observa un barrido general para el prerreducido de hierro obtenido en el horno Linder, aquí se observan granos de hierro con algunas inclusiones de silicatos de aluminio y sílice (puntos negros). No se pueden diferenciar, pero son los que generalmente se forman en el prerreducido, estos granos se encuentran en una matriz de resina (quimident), por eso se observan delimitaciones en los granos de color blanco (electrostática).

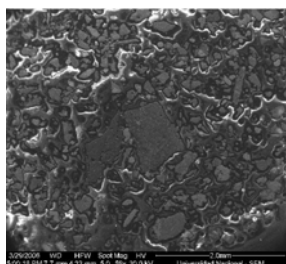


Figura 3. Prerreducido de hierro

4. CONCLUSIONES

La magnetita en trozos es un mineral denso y poco permeable a procesos de reducción directa, por lo tanto debe ser llevado a un proceso de peletización, sometiéndose a trituración, molienda y pulverizado hasta obtener una granulometría de 100 mallas.

El mineral sometido a un proceso de concentración en un concentrador magnético tipo tambor, dio una concentración del 52.21 % en peso, este proceso se realizó a 100 mallas con el fin de obtener una mayor cantidad de material sin ganga.

La mezcla del pelet formado por bentonita (15.8%), caliza (4.76%) y mineral (79.3%) mostró que es la mejor para el proceso de peletización de finos de magnetita.

La temperatura utilizada de 1100° C en una mufla en atmósfera oxidante en el proceso de endurecimiento térmico fue determinada teórica y prácticamente siendo la requerida para la transformación de magnetita a hematita

En el análisis de fluorescencia de rayos X se determinó la cantidad de hierro presente en la muestra, así como los demás elementos. Se logró verificar que la proporción de

hierro disminuyó concluyendo que el pelet magnetítico se transformó en hematítico.

En el proceso de reducción directa las variables del horno Linder fueron establecidas obteniendo un prerreducido de hierro con un promedio en el grado de metalización del 83.845%.

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos químicos, fluorescencia y microscopía permiten concluir que el mineral es apropiado para procesos de reducción directa.

Teniendo en cuenta la ley del mineral de magnetita y de acuerdo a sus condiciones iniciales se puede concluir que el grado de metalización promedio obtenido es aceptable.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] A. R. Janikow, "Pirometalurgia-Introducción a los Procesos pirometalúrgicos Extractivos", Editorial UNJU, ISBN 950-721-143-8, San Salvador de Jujuy, 2000.
- [2] A. H. Forero Pinilla, "Reducción directa de minerales de hierro". Tunja, 1994. P. 1 Trabajo año Sabático. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Escuela de Metalurgia.
- [3] R. Barbis, y F. Aguirre, "La reducción directa de los minerales de hierro y su aplicación en América Latina". 1974. 3 p.
- [4] D. Ball y F. Dartnell. "Agglomeration of iron ores". London: Heinemann Educational Books limited. 1973
- [5] GRUPO DE SIDERURGIA UPTC. Informes proyecto "Diseño y construcción de un horno rotatorio a nivel de planta piloto para la obtención de prerreducidos a partir de minerales de hierro nacionales, en Acerías paz de Río S.A." Colciencias Tunja 2003.
- [6] F. Jerome and R. Donald, "Direct reduced Iron". Technology and Economics of production and use. The iron and steel Society Warradale, PA. USA. 1990. Pags 53,54,60-65.
- [7] C. Leyva, "Tecnología de la reducción directa". Colombia. U.P.T.C., 1997. Pág. 7.
- [8] J. Sancho, L. F. Verdeja y A. Ballester, "Metalurgia extractiva". Procesos de Obtención Vol. II. Editorial Síntesis. Madrid España. Pags. 38 y 39.