

PROCESO DE REDUCCIÓN DIRECTA DE MINERALES DE HIERRO EN HORNO ROTATORIO

Sandra Diaz^{1}, Álvaro Forero², Javier Ortiz Duran³*

- 1: Msc. Ing. Metalúrgica, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia
2: Esp. Ing. Metalúrgico, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia
3: Estudiante Ing. Metalúrgico, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia

* Contacto: prerreducido@hotmail.com

RESUMEN

En Colombia, la industria metalúrgica encargada de la producción de aceros requiere de materias primas como la chatarra y minerales de hierro; la obtención de dichas materias se ha vuelto dispendiosa, al igual su situación en el mercado y su precio inestable. La fabricación del acero, demanda chatarra con características especiales, dichas cualidades son difíciles de encontrar en el mercado siendo necesario buscar materias primas diferentes a está, sin afectar la calidad, eficiencia, y costos de la producción de los aceros. Con la obtención de prerreducido, se crea una alternativa para la industria productora de acero generando una reducción de costos, un aumento de la eficiencia en la fabricación de acero sin afectar la calidad del producto. El presente trabajo describe la puesta a punto de un horno rotatorio y realización de pruebas para la producción de prerreducido con los minerales de hierro de los yacimientos de Tibirita y de Ubala, en el horno rotatorio de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia con el fin de determinar el mayor grado de reducibilidad en dicho proceso.

Palabras clave: *Horno rotatorio, mineral de hierro, prerreducido, porcentaje de reducibilidad*
Abstract

In Colombia, the metallurgical industry is in charge of steel production. It needs raw materials as iron ores and scrap. The production of raw materials has been difficult, the same in the market and its price is very instable. The manufacture of steel needs scrap with special characteristics. These characteristics are difficult to find in the market. It is necessary to search different raw materials without to affect the quality, efficiency and costs steel production. The direct reduction iron is an alternative by steel manufacture. The present work describe the tuning a rotary kiln and the development of proofs by the direct reduction iron production from Tibirita and Ubala deposit. These deposits were processing at the UPTC in order to determinate the greater reducibility grade in this process.

Keywords: *rotary kiln furnace, iron ore, direct reduction iron, reducibility percentage*

1 INTRODUCCIÓN

La producción de acero requiere de mineral de hierro y carbón, acompañado de la emisión de gases de efecto invernadero. La producción anual de acero en el mundo ha incrementado de 0.9 a 1.3 billones de toneladas hasta el 2002 y se anticipa que incrementara debido al continuo crecimiento económico de países desarrollados especialmente Asia. [1]. En la producción del acero se puede utilizar el proceso de reducción directa, el que emplea agentes reactivos reductores como gas natural, carbón, aceite combustible, monóxido de carbono, hidrógeno o grafito. El procedimiento consiste en triturar la mena de hierro y pasarla por un reactor con los agentes reductores, para eliminar algunos elementos no convenientes para fusión del hierro. El resultado son unos pellets o trozos de prerreducido, los cuales sustituyen parcialmente la chatarra en el horno eléctrico de arco. La reducción directa es todo proceso mediante el cual se obtiene hierro metálico por reducción de minerales de hierro, siempre que las temperaturas involucradas no superen la temperatura de fusión de cualquiera de los componentes. Se trata de una reducción incompleta, sin alcanzarse la fusión. Se puede realizar mediante la utilización de gases reductores ricos en Hidrógeno (**H₂**) y Monóxido de Carbono (**CO**). El mineral de hierro, en pellets o en terrones, se introduce a través de una tolva que alimenta al horno en la tapa del mismo. Mientras que el mineral desciende a través del horno por flujo de gravedad, se calienta y el oxígeno es quitado del hierro (reducido) por medio de los gases reductores. Estos gases reaccionan con el **Fe₂O₃** en el mineral de hierro y lo convierten al hierro metálico, dejando **H₂O** y **CO₂**. Para la producción de DRI (Direct Reduction Iron) frío, el hierro reducido es refrescado y carburado con los gases que se producen en la porción más baja del horno. Algunos gases reductores alternativos, son gasificación del carbón, gas de coquerías, gas de hidrocarburos.

2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El desarrollo del trabajo se realizó desde la toma de muestras de mineral y agente reductor, pasando por preparación mecánica de las materias primas hasta la obtención y caracterización del prerreducido obtenido. Se tomaron muestras de mineral de hierro del Municipio de Tibirita y de Ubalá. Cada muestra era de 200 kg para ser procesada en horno rotatorio. Las muestras de carbón se tomaron del Municipio de Samacá. El mineral se preparó mecánicamente realizando una trituración hasta alcanzar un tamaño de ½ - 3/4 de pulgada. El mineral de hierro se caracterizó utilizando técnicas como difracción de rayos X, microscopia electrónica de barrido y petrografía, al carbón se le realizó análisis inmediato.

El proceso de reducción directa del mineral de hierro se llevó a cabo en un horno rotatorio que tiene 7 m de longitud, un diámetro interno de 54 cm, con un espesor en el refractario de 12 cm, con una capacidad de 250 kg/hora, a 1 rpm de rotación con un tiempo de permanencia de 8 horas. Se cargaron 200 kg de mineral con 70 kg de carbón como agente reductor, con una velocidad de alimentación de 2kg/min hasta completar la carga. El enfriamiento se realizó de dos formas, la primera se disparó un chorro de agua al recipiente en donde se encontraba herméticamente la muestra para efectuar un enfriamiento rápido y la segunda se efectuó enterrando el recipiente hermético en arena, hasta su total enfriamiento. El producto de la

reducción directa fue prerreducido, este fue analizado por microscopia electrónica de barrido y análisis gravimétrico, para determinación de porcentajes de metalización.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterización de materias primas

Los minerales de hierro de Tibirita y Ubala se caracterizaron por diferentes técnicas como difracción de rayos X, petrografía y microscopia electrónica de barrido obteniéndose que el mineral de Tibirita presenta un alto porcentaje de limonita del 66% y el mineral de Ubala un porcentaje de hematita del 56%.

El agente reductor utilizado fue carbón, se le hicieron análisis inmediatos para evaluar la reducibilidad del mineral, obteniéndose que tiene un carbono fijo de 50 %. El carbón como material reductor es eficiente a altas temperaturas debido a su gran cantidad de materia volátil y bajo carbono fijo 50.1 lo cual ocasiona una rápida reacción entre temperaturas de 200 a 400 °C.

3.2 Reducción directa

Los dos minerales fueron sometidos a procesos de reducción directa en horno rotatorio y horno Linder. El horno Linder es un reactor tipo experimental que permite procesar cantidades pequeñas de mineral y el horno rotatorio es un reactor que permite trabajar minerales a escala de planta piloto. En ambos reactores se llevó a cabo el proceso con el fin de compararlos y observar la viabilidad de producir prerreducido en horno rotatorio. La ecuación (1) se dio como resultado de los porcentajes de metalización que se puede observar en la tabla 1, para cada uno de los reactores. La diferencia en el porcentaje de metalización trabajando un horno Linder y un horno rotatorio, al tener buen control en el horno rotatorio se obtienen mejores resultados en las pruebas de laboratorio.

$$\% \text{Metalización} = \frac{\% \text{ de Fe (metálico)}}{\% \text{ de Fe total}} * 100 \quad (1)$$

Tabla 1. Comparación de resultados entre horno linder y horno rotatorio con respecto al prerreducido obtenido del mineral de Tibirita

Reactor	%Fe metálico	%Fe total	% Metalización
Horno Linder	62.43	80.69	77.37
Horno Rotatorio	60.47	78.43	77.1

3.3 Prerreducido obtenido

El producto de la reducción directa fue enfriado con un chorro de agua (enfriamiento rápido) y enfriado en la tierra (enfriamiento lento). El prerreducido enfriado en agua mostró mejores características que el que se enfrió lentamente.

3.3.1 Mineral Tibirita

Se caracterizó el prerreducido obtenido por microscopia electrónica de barrido con el fin de observar su morfología obteniendo lo siguiente (ver figuras 1 y 2)

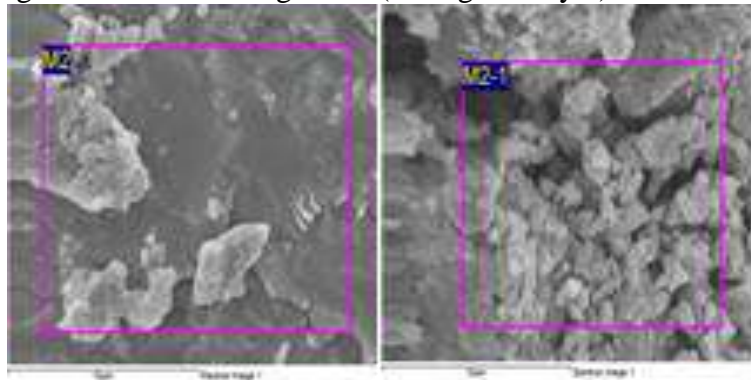


Figura 1: Micrografías Tibirita enfriado con agua

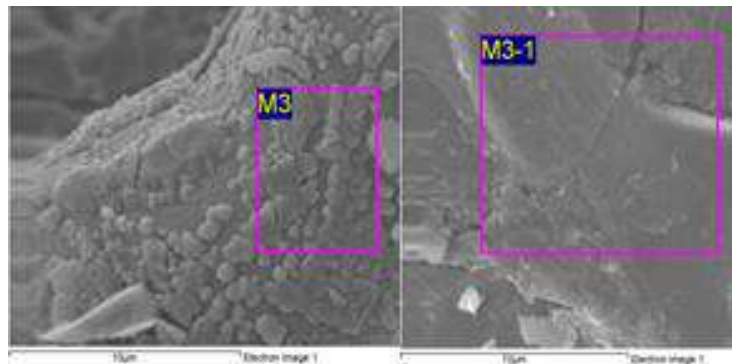


Figura 2. Prerreducido de mineral de Tibirita enfriado al aire

En las micrografías se observa el prerreducido obtenido en las dos condiciones de enfriamiento diferente. Se observa claramente que las muestras enfriada en forma rápida presentan un mejor porosidad y mayor área de superficie lo que indica que la reducción del mineral fue mejor en estas debido a que el paso de los gases se hace con mayor fluidez que en las muestras enfriadas lentamente, cabe destacar que para el segundo caso aparece mayor cantidad de impurezas, porque estuvo más tiempo en contacto con el oxígeno a altas temperaturas, a diferencia del enfriado en agua, lo cual ocasiona mayor cantidad de óxidos en el prerreducido.

3.3.2 Mineral de Ubalá

Se caracterizó el prerreducido obtenido por microscopia electrónica de barrido obteniendo lo siguiente: (ver figuras 3 y 4)

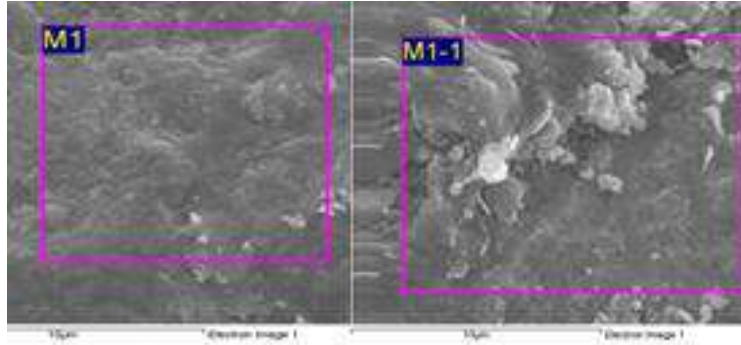


Figura 3. Prerreducido del mineral de Ubala enfriado en agua

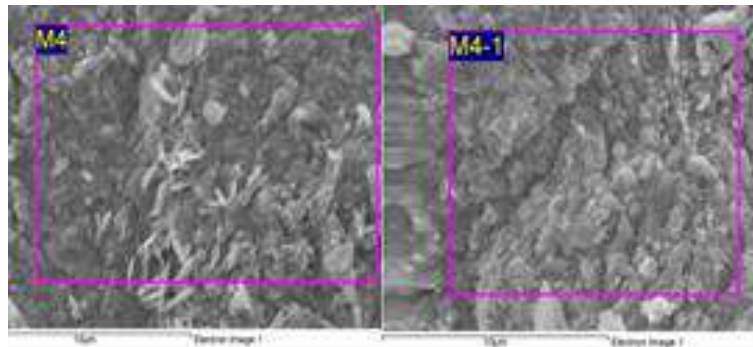


Figura 4. Prerreducido de mineral de Ubala enfriado al aire

Las micrografías anteriores muestran en su morfología un leve aumento de impurezas en el prerreducido enfriado en aire comparado con el enfriado en agua. Esto se asume que se debe a que en el prerreducido enfriado al aire hay un incremento en la oxidación del producto generándose más porcentaje de wustita (FeO).

4 CONCLUSIONES

El agente reductor utilizado en este proceso fue carbón de bajo carbono fijo, este llega a proporcionar suficiente CO incluso a elevadas temperaturas del proceso. El tamaño de partícula empleado, entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de pulgada es ideal, ya que las partículas menores a este tamaño crean una capa en el refractario y las partículas más grandes no tendrán una reducción eficiente, porque no habrá una reducción completa de las mismas por falta de superficie de contacto con el gas reductor. El tiempo de permanencia determinado de los minerales de Ubala y Tibirita oscilo entre 6 y 8 horas. Teniendo en cuenta la comparación con el horno Linder se puede afirmar que es posible producir prerreducido en el horno rotatorio, realizando ajustes al mismo para garantizar la calidad del producto. En las muestras de mineral de Tibirita se observa como resultado que el reductor utilizado fue el adecuado, ya que este produjo la reducción a hierro metálico en mayor proporción. El consumo de gas fue menor en las pruebas de mineral de Tibirita, se obtuvo una muy buena atmosfera reductora lo cual hace disminuir la intensidad con que la llama debe actuar. El índice de rendimiento fue mayor en las pruebas de mineral de Tibirita debido a que la ley o tenor del mismo (52%) permite mayor capacidad de reducción con el agente utilizado. El carbón utilizado fue el más adecuado, proporcionó mayor cantidad de C en la zona de reducción a 900 y 1100°C . Las pruebas de mayor rendimiento son las que se realizaron con mineral de Tibirita y la

muestra de carbón de Samacá obteniendo 60.71%. Las pruebas de menor rendimiento son las que se realizaron con mineral de Ubala, obteniendo un 27.39%.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Takao Harada and Hidetoshi Tanaka. Future Steelmaking Model by Direct Reduction Technologies. Research and Development Dept. Iron Unit Division, Kobe Steel. ISIJ International, Vol. 51 (2011), No. 8, pp. 1301–1307. Japon. 2011.
2. S. P. Pérez Velásquez y J. G. Barón Motta. Puesta a punto de un horno rotatorio a nivel semi-industrial para la producción de prerreducido de hierro. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. Tesis. 2002
3. Forero. Álvaro Reducción Directa de minerales de hierro. Trabajo año sabático. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de ingeniería. Escuela de metalurgia. Tunja, 1994.
4. R.A. Gutiérrez. Influencia de la basicidad en la microestructura de los pellets y en su comportamiento metalúrgico en los procesos de reducción directa. Coquimatlan, Colima. Tesis de Maestría en Ciencias con Especialidad en Metalurgia. Universidad de Colima México; Facultad de Ciencias Químicas. Marzo 1998.
5. Leiva, C. Tecnología de la Reducción Directa, curso teórico práctico. Mayo 1997. P. 1, 2.
6. Deqing Zhu, Vinicius Mendes, Tiejun Chun, Jian Pan, Qihou Li, Jian Li and Guanzhou Qiu Direct Reduction Behaviors of Composite Binder Magnetite Pellets in Coal-based Grate-rotary Kiln Process. School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha. ISIJ International, Vol. 51 (2011), No. 2, pp. 214–219, China. 2011.