

## MICROESTRUCTURA Y PROPIEDADES METALÚRGICAS DEL SINTER DE MINERAL DE HIERRO

*Jesús Camporredondo<sup>1</sup>, Fabián Equihua<sup>1</sup>, Adrián García<sup>1</sup>, Luis Camacho<sup>2</sup>, Mario Barrera<sup>1</sup>*

1: Investigador, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica-UAdeC, Monclova, México

2: Investigador, Escuela Superior de Ingeniería-UAdeC, Nueva Rosita, México

\*Contacto: [energiaycarbon@gmail.com](mailto:energiaycarbon@gmail.com)

### RESUMEN

El sinter es una materia prima primordial para el proceso del alto horno, principal reactor a nivel mundial empleado para la producción de hierro de primera fusión. Su producción se lleva a cabo en una máquina integrada por una cadena sin fin con una sección de ignición en el extremo inicial del recorrido y un sistema de succión de aire por la parte inferior para fomentar la combustión y en consecuencia la fusión incipiente de algunos componentes de la mezcla. La materia prima consiste en una mezcla de finos de mineral de hierro, finos de coque, finos de pelet y fundentes, además, el proceso emplea gas de coque y aire de la atmósfera.

En el presente estudio se analizan las fases precipitadas en el producto en función del tipo y proporciones de los componentes de la mezcla y de las condiciones de procesamiento. La caracterización de las materias primas y del producto incluye MEB-EDX, AA, DR-X, FR-X y microscopía de luz reflejada. Los resultados revelan la influencia de la composición de la mezcla inicial y las condiciones de procesamiento. Se determinan los parámetros que favorecen la generación de ferritos aciculares circundando la hematina primaria, esta estructura proporciona al sinter alta reductibilidad además de resistencia mecánica por lo que se considera beneficiosa en la operación del alto horno.

**Palabras Clave:** *Sinter de mineral de hierro, Microestructura, Ferritos aciculares*

### ABSTRACT

Sinter is the primary raw material for the blast furnace process. Globally, it is the main reactor used for the pig iron production. Its production is performed on a machine, comprising an endless chain with ignition section at the starting end of route and an air suction system at the bottom to promote the combustion, and hence, the incipient melting of some components of the mixture. The raw material consists of a mixture of fine iron ore, coke and pellet fines, and flux; the process uses coke gas and air of the atmosphere.

In the present study have been examined the precipitated phases in the product depending on the type and proportions of the components of the mixture and the processing conditions. The characterization of raw materials and the product includes SEM-EDX, AA, DR-X, FR-X and reflected light microscopy. The results have shown the influence of the composition of the initial mixture and the processing conditions. In addition, the parameters that promote the generation of ferrites primary acicular hematite circling have been determined; this structure provides high

reducibility sinter and abrasion strength, therefore, it is considered beneficial in the blast furnace operation.

**Keywords:** *Iron ore sinter, Microestructure, Acicular ferrite*

## 1 INTRODUCCIÓN

El proceso de sinterización consiste en aglomerar por fusión incipiente de una mezcla de minerales de hierro, fundentes y coque, con granulometría menor a 8 mm, el sinter ideal para la carga del alto horno deberá estar en el rango de tamaños de 12 a 35 mm, y debe poseer propiedades mecánicas que aseguren su integridad granulométrica bajo las presiones y temperaturas del horno. Antes de su paso por la máquina de sinterización, la mezcla mineral se somete previamente a una granulación, que consiste en homogenizar la mezcla en un tambor giratorio, con la adición de un 6-8 % de agua, durante unos minutos.

Los nódulos formados se cargan sobre la parrilla de la banda de sinterización, donde la temperatura de la carga se eleva entre 1200 y 1350 °C para producir la fusión parcial y producir material semifundido, el cual, durante el enfriamiento posterior, cristaliza en varias fases minerales de distinta composición química y morfológica. Estas fases son: hematita no asimilada o residual, también denominada hematita primaria; hematita precipitada o hematita secundaria; magnetita; silicoferritos de calcio y aluminio (SFCA) y ganga formada, principalmente, por silicatos de calcio, hierro y magnesio[1-5].

Recientemente el incremento en la producción de acero ha conducido a dificultades para asegurar la calidad de los depósitos de minerales de hierro y por lo tanto la flexibilidad en el uso de minerales de bajo rango empieza a ser un aspecto importante. En algunas regiones del mundo se ha ido incrementando el uso de minerales de hierro con alto contenido de agua combinada y se espera que esta tendencia se mantenga en el futuro. La Figura 1 muestra esquemáticamente la secuencia de procesamiento de una planta de sinterización local.

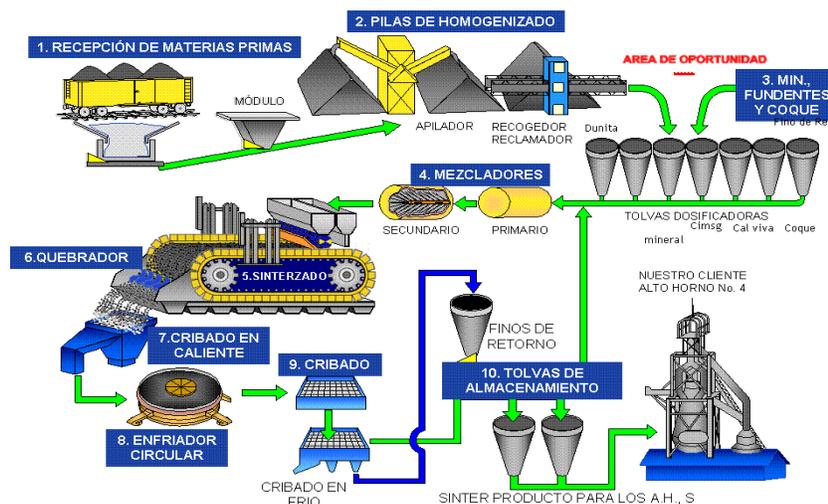


Figura 1. Esquema de la secuencia de procesamiento de la planta de sinterización bajo estudio.

## 2 ANÁLISIS DEL PROCESO DE SINTERIZACIÓN

### 2.1 Composición química de las pilas de homogenizado.

El análisis químico de las materias primas del proceso de sinterización se realizó empleando un espectrofotómetro de absorción atómica marca PERKIN ELMER, modelo AAnalyst 100, además empleando fluorescencia de rayos X marca Panalytical modelo AXIOS. En la Tabla 1 se muestra la composición química de las pilas bajo estudio. En la Tabla 2 se muestra la proporción de los componentes minerales de cada pila y la estructura mineralógica (obtenida por difracción de rayos X) de cada mineral y recicle siderúrgico empleado.

**Tabla 1.** Análisis químico de las pilas de homogenizado

| % en peso     |                 |       |                  |       |       |                                |       |       |                  |                   |       |                  |                 |
|---------------|-----------------|-------|------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|------------------|-------------------|-------|------------------|-----------------|
|               | Fe <sub>T</sub> | MnO   | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P     | S     | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | ZnO   | TiO <sub>2</sub> | IB <sub>2</sub> |
| <b>PILA 1</b> | 63.188          | 0.256 | 3.647            | 4.363 | 0.943 | 0.966                          | 0.071 | 0.075 | 0.083            | 0.093             | 0.012 | 0.322            | 1.196           |
| <b>PILA 2</b> | 62.469          | 0.221 | 3.575            | 4.296 | 0.931 | 0.979                          | 0.082 | 0.090 | 0.071            | 0.093             | 0.016 | 0.387            | 2.201           |

**Tabla 2.** Proporciones de materias primas constituyentes de la pila y principales fases mineralógicas presentes.

| Materia prima       | Porcentaje en la mezcla de pila |        | Fases mineralógicas principales |
|---------------------|---------------------------------|--------|---------------------------------|
|                     | Pila 1                          | Pila 2 |                                 |
| RECHAZO SID.1       | 22.538                          | 30.831 | Hematita, Magnetita             |
| RECHAZO SID. 2      | 28.415                          | 24.305 | Hematita, Magnetita             |
| TIPO "C"            | 7.005                           | 1.809  | Magnetita                       |
| FINO TRINIDAD       | 0.000                           | 1.874  | Hematita, Goethita              |
| FINO CANADA         | 19.419                          | 0.000  | Hematita, Magnetita             |
| FINO BRASIL         | 0.000                           | 5.052  | Hematita, Goethita              |
| CONCENTRADO DURANGO | 9.248                           | 17.134 | Hematita, Magnetita, Goethita   |
| FINO VENEZUELA      | 1.775                           | 1.408  | Magnetita, Hematita             |

### 2.2 Granulometría de las pilas.

En la Figura 2 se muestra gráficamente el perfil granulométrico del homogenizado de pila 1 y 2, básicamente, esta información revela la proporción de partículas nucleares y adheribles, lo cual influye significativamente sobre las fases precipitadas durante la sinterización de la mezcla.

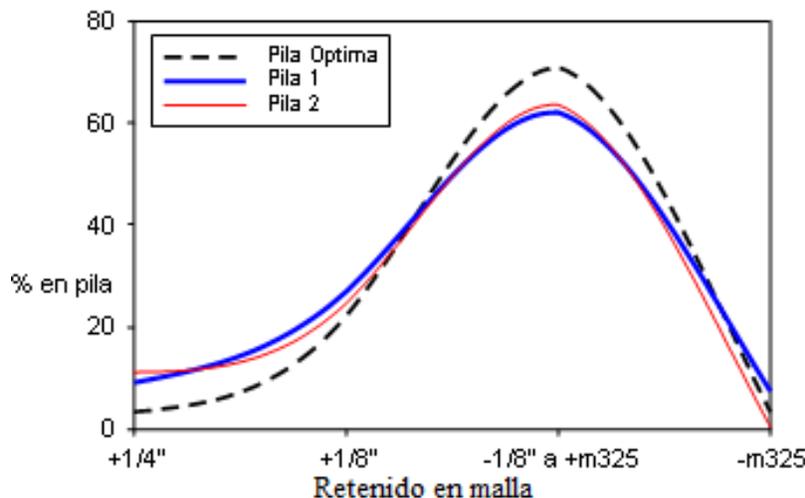


Figura 2. Comparación de los perfiles granulométricos de la pila óptima, Pila 1 y Pila 2.

### 2.3 Microestructura del sinter.

Al sinter producido y empleando como materia prima para las pilas 1 y 2, se analizó por Microscopía Electrónica de Barrido acoplado con dispersión de Energía de Rayos X, MEB-EDX, de esta manera se logran determinar las fases precipitadas, las cuales guardan una estrecha relación con las propiedades metalúrgicas del producto.

### 2.4 Propiedades Metalúrgicas del sinter.

La resistencia en frío se mide a partir del ensayo Tumbler y es un indicador de la degradación que sufrirá el material durante su manipulación en frío por lo tanto constituye un parámetro muy importante de control de calidad.

El ensayo DRI mide la resistencia a la degradación del sinterizado a baja temperatura, simulando las condiciones prevalecientes en la cuba del alto horno.

Otra propiedad metalúrgica importante es el índice de reductibilidad la cual representa la facilidad con la que se reducen químicamente los óxidos de hierro.

Tabla 3. Principales propiedades metalúrgicas del sinter para control de calidad

| Propiedad Metalúrgica               | Pila 1 | Pila 2 |
|-------------------------------------|--------|--------|
| Índice Tumbler >6.3 mm, %           | 72     | 69     |
| RDI < 3 mm, %                       | 38     | 41     |
| Reductibilidad, R <sub>60</sub> , % | 80.3   | 77.5   |

### 2.5 Parámetros de proceso.

Los parámetros de proceso se mantiene constantes en ambas pruebas de tal manera que las diferencias en la calidad del sinter obtenido con cada pila dependen básicamente de la naturaleza de los minerales agregados a la mezcla y del perfil granulométrico de cada pila. Los parámetros operativos fijos para el procesamiento de ambas pilas se resumen en la Tabla 4.

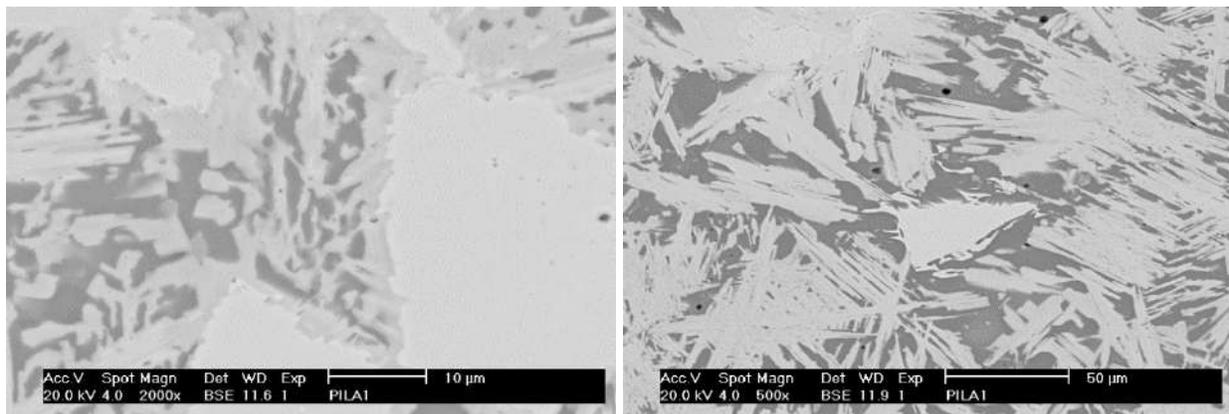
**Tabla 4.** Parámetros operativos bajo control durante la sinterización de pilas 1 y 2.

| Parámetro                   | Valor                       |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Altura del lecho            | 50 cm                       |
| Finos de Retorno            | 25%                         |
| Basicidad                   | Pila 1 =1.196, Pila 2=1.202 |
| Temperatura máxima de humos | 375 °C                      |
| Consumo de coque            | 42.8 kg/Ton de sinter       |
| Productividad               | 37.8 Ton/h                  |

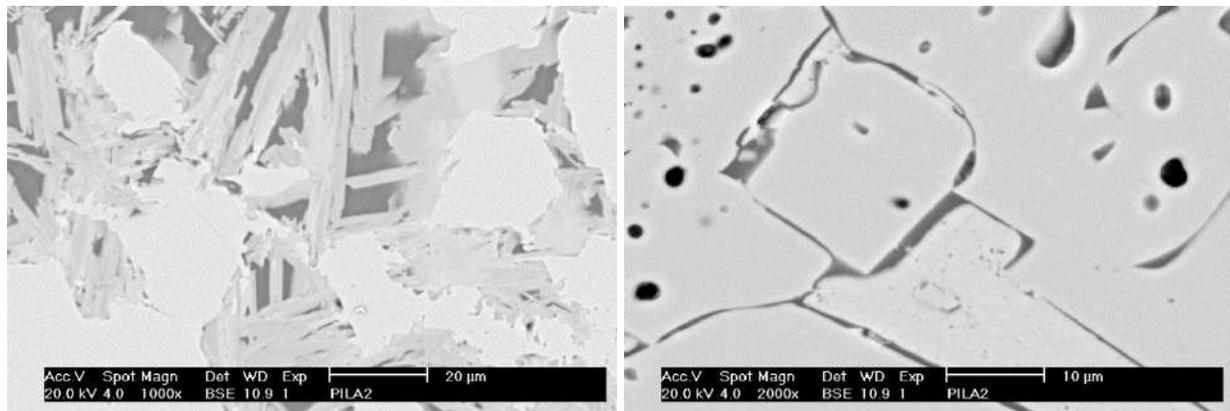
### 3 PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

#### 3.1 Microestructura del sinter

La estructura de sinterización difiere entre el sinter obtenido en la pila 1 y 2, comparando las Figuras 3 y 4 pues es notorio que bajo condiciones similares de procesamiento, el sinter producido usando la pila 1 presenta una estructura de silicoferritos de calcio y aluminio de forma acicular alrededor de partículas de magnetita en posición nuclear. Otro aspecto importante es la dispersión de las partículas aciculares, la cual es más homogénea en la estructura del sinter de pila 1, generando una estructura entrelazada y permeable que facilita las reacciones de reducción.



**Figura 3.** Micrografías de las fases presentes en el sinter producido con homogenizado de pila 1.



**Figura 4.** Micrografías de las fases presentes en el sinter producido con homogenizado de pila 2.

### **3.2 Efecto de la mineralogía de concentrado de hierro sobre la calidad del sinter.**

La diferencia principal entre los componentes de las mezclas de las pilas 1 y 2 radica en la presencia de una estructura goethítica en una fracción importante de los minerales mezclados en la pila 2. Durante el proceso de sinterización la goethita experimenta un proceso endotérmico de desprendimiento del agua químicamente combinada lo cual impide que localmente se alcancen temperaturas óptimas de sinterización inhibiendo la adherencia del fundido por el flujo del vapor desprendido. Este mecanismo, además de la textura superficial de la goethita es el responsable de las propiedades metalúrgicas inferiores del sinter de pila 2 respecto al de la pila 1.

### **3.3 Efecto de la Granulometría de la mezcla.**

El efecto de la granulometría sobre las propiedades del sinter está relacionado a la fracción de partículas adherentes y nucleares. En la Figura 1 podemos observar comparativamente el perfil granulométrico de ambas pilas y el de la “pila óptima”, la pila 1 contiene mayor proporción ( $\approx 5\%$ ) de partículas de tamaño inferior a la maya 325 y menor proporción de gruesos, es decir retenidos en  $+1/4$ ”.

## **4 CONCLUSIONES**

La calidad del sinter producto definido mediante sus propiedades metalúrgicas es fuertemente influenciada por las características de la materia prima a saber: Composición química, estructura mineralógica y granulometría.

La formación de ferritos aciculares de calcio y aluminio es deseable en el producto debido a la resistencia mecánica superior que le confiere al sinter, además de favorecer la cinética de la reducción en el alto horno. La presencia de minerales con estructura goethítica en la mezcla de pila menoscaba la precipitación de SFCA y en consecuencia la calidad del producto.

La formación de SFCA es favorecida por la presencia de partículas inferiores a 0.2 mm las cuales se adhieren a las partículas nucleares al fundirse una fracción de ellas combinadas en proporciones de eutécticos de óxidos complejos.

## **5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. A. Moro, Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Universidad de Oviedo, 1995.
2. S.N.Ahsan, T.Mukherjee y J.A. Whiteman, Ironmaking Steelmaking 10 (1983) 54-64.
3. T. Haga, A. Oshio, D. Shibata, S. Kasama y Y. Hida, Proc. 4th European Cokemaking and Ironmaking Cong., vol. 1, París, Francia, Ed. ATS, París, Francia, 2000, pp. 118-125.
4. A. Formoso, A. Moro, G. Fernandez-Pello, M. Muñiz, J. Jiménez, A. Moro y A. Cores, Rev. Metal. Madrid 36 (2000) 244-265.
5. A. Formoso, A.Moro, G. Fernández-Pello, J.L. Menéndez, M. Muñiz y A. Cores, Iron making Steel making 30 (2003) 447-460.