

REDUCCIÓN POR ACTIVACIÓN TÉRMICA DE AGLOMERADOS A BASE DE CONCENTRADOS DE HIERRO, RESIDUOS SIDERÚRGICOS Y MATERIALES CARBONOSOS

Missael Lara ^{1*}, Jesús Camporredondo ², Adrián García ², Fabián Equihua ², Rumualdo Servín ²

1: Doctorado en Ciencia y Tecnología de Materiales, Facultad de Ciencias Químicas, Saltillo, México

2: Investigador, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Monclova, México

*Contacto:missael01@hotmail.com

RESUMEN

El aprovechamiento de residuos siderúrgicos, tales como polvos y lodos de alto horno, es factible al combinarlos con mineral de hierro y carbón (CHC), tratarlos térmicamente en atmósfera controlada para la reducción de los óxidos de hierro y simultáneamente la remoción por gasificación de los metales alcalinos contenidos. La metalización del aglomerado en conjunto con la disminución del contenido de álcalis potencian su uso en los procesos de fabricación de hierro de primera fusión. En la síntesis de los CHC se utilizó concentrado de mineral de Fe rico en goethita, polvos y lodos de alto horno, como agente reductor se empleó carbón térmico y finos de coque. Las composiciones porcentuales de las mezclas se determinaron a través de un análisis termodinámico usando el módulo *Equilibrium Compositions* del software *HSC Chemistry For Windows 5.1*. Se determinó la evolución química del sistema en función de la temperatura para mezclas con las relaciones (Fe/C) a saber: 65/35, 70/30 y 77.5/22.5.

El análisis termodinámico indica que la concentración de carbón residual más baja, cercana al 5%, se obtiene a una razón Fe/C = 77.5/22.5. En contraste, la relación Fe/C = 65/35, genera una mayor cantidad de carbón residual, aproximadamente del 15%. La reducción del mineral de hierro en el CHC para las composiciones porcentuales estudiadas termodinámicamente no mostraron variaciones importantes, lográndose en todas un avance del 95% a temperaturas cercanas a los 1000 °C, adicionalmente los álcalis gasifican dentro de este rango de temperaturas, haciendo factible eliminarlas por la acción de purga de gases.

Palabras clave: *Reducción óxidos de hierro, Goethita, Residuos siderúrgicos*

ABSTRACT

For the best utilization of solid waste from siderurgical industry, such as sludge and dust of scrubbers of the blast furnace, it is feasible to combine with iron ore and carbon (ICC) and heat treatment in a controlled atmosphere to reduce iron oxides and simultaneously removing alkali metal by gasification. The agglomerate metallization in conjunction with the decreased alkali content, enhance its use in manufacturing processes for the initial melting of iron. In the synthesis of the CHC was used a concentrated of Fe rich on content of goethite, powder and blast furnace sludge, gent and thermal carbon coke fines were used as a reducing agents. The percentage compositions of the mixtures were determined by thermodynamic analysis using the module *Equilibrium Compositions* from the software *HSC Chemistry for Windows 5.1*. Chemical

evolution of the system was determined as a function of the temperature for the mixtures with relationships (Fe/ C) as follows: 65/35, 70/30 and 77.5/22.5. Thermodynamic analysis indicates that lower residual carbon concentration, around 5%, is obtained at a rate Fe/C =77.5/22.5. In contrast, the Fe/C=65/35, generates a higher amount of residual carbon, about 15%. The reduction of iron ore in the CHC for the percentage compositions, thermodynamically studied, showed no significant variations, achieving in all 95% progress to temperatures near 1000°C, further alkali gasified within this temperature range, making it feasible to eliminate them by the action of gas purge.

Keywords: *Iron ore reductions, Goethite, Siderurgical waste*

1 INTRODUCCIÓN

La industria del hierro y el acero enfrenta como principal reto la escasez de materias primas de calidad. Por este motivo, las investigaciones y los desarrollos tecnológicos se centran en la adecuación e innovación de los procesos para el uso de los recursos minerales disponibles. La generación de aglomerados de hierro/carbón es una ruta viable para sustentar el empleo de materias primas tales como minerales de hierro del tipo goethíticos, carbón térmico y resinas poliméricas [1, 2, 4], aunado a que con las condiciones de temperatura y atmósfera controlada que rigen el proceso de pre-reducción, implementar porcentajes de residuos siderúrgicos como materias primas base para lo conformación de los aglomerados.

2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

2.1 Materia Prima

El criterio de selección de materiales para la elaboración y reducción de aglomerados de hierro radica en su aportación al contenido de Fe y en las propiedades metalúrgicas que el resto de los componentes le confieren al producto, la composición química de las materias primas empleadas para su estudio se especifica en la Tabla 1.

2.2 Mezclas minerales

Las mezclas se diseñaron en base al cumplimiento de una concentración de unidades de hierro suficiente para el proceso de fusión (50-60% de Fe), tratando de maximizar el uso de residuos siderúrgicos, minimizando el uso de agente reductor, manteniendo además un índice de basicidad en torno a 1. Se desarrollaron mezclas de concentrado de hierro, residuos siderúrgicos y materiales carbonosos a partir de los criterios antes mencionados y en relaciones de Fe/C de 65/35, 70/30 y 77.5/22.5, las proporciones se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1. Composición química de las materias primas

Porcentajes										
Materia prima	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	C	Otros
Concentrado Durango	88.68	1.9	0.11	1.24	5.43	0.13	0.25	0.83	/	1.43
Polvos de colector	71.05	4.24	0.28	0.97	5.7	0.2	0.43	1.12	15	0.59
Lodos de alto horno	55.32	8.19	0.37	2.96	8.35	1.41	2.01	1.45	14	6
Porcentajes										
Material carbonoso	C		S		Ceniza		Volátiles			
Finos de coque	83.32		0.96		15.87		2.84			
Carbón térmico	63.4		0.92		30.46		26.45			

Tabla 2. Concentración porcentual de compuestos en los sistemas de mezclas A, B y C

Mezclas	Porcentajes de compuestos previos al proceso de termólisis						
	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	C	Otros
Sistema A	59.949	4.018	5.488	0.816	0.539	20.982	8.208
Sistema B	62.108	4.162	5.686	0.845	0.559	18.632	8.008
Sistema C	65.656	4.4	6.01	0.893	0.59	14.773	7.678

Una vez determinados los valores de los componentes (en kg.) se alimentaron al módulo *Equilibrium composition* del software *HSC Chemistry For Windows* para la determinación de las concentraciones al equilibrio de las mezclas ferrosas en función de la temperatura.

2.3 Estudio experimental, aglomeración de partículas vía termólisis.

Para la elaboración de los aglomerados se emplearon el concentrado Durango, polvos de colector, lodos de alto horno como fuentes de hierro y para la generación de agentes reductores finos de coque y carbón térmico. Los minerales de hierro (tamaños de 75 – 53 μm) y los materiales carbonosos (tamaños de 125 - 75 μm) se homogenizaron en base a los sistemas de mezclas que se especifican en la Tabla 2 (Fe/C – 65/35, 70/30 y 77.5/22.5) por un periodo de tiempo de 1 hora, posteriormente se prensaron con distintas cargas (2, 4 y 10 toneladas métricas) a una temperatura constante de 430°C, propiciando la plasticidad térmica del carbón). Para formar briquetas con tamaños de entre 18 y 20 mm diámetro y 15 mm de longitud (tamaño estándar de pellets siderúrgico) se requirió de aproximadamente de 10 g para elaborarla.

3 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

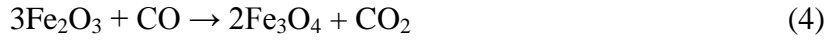
3.1 Simulación termodinámica del proceso de pre-reducción.

La reducción de hierro usando carbono como generador de agentes reductores ocurre simultáneamente por dos mecanismos:

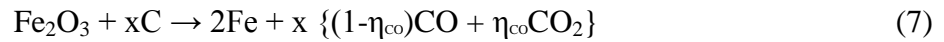
Reducción directa



Reducción indirecta



Debido a que la reducción de los óxidos de hierro tiene lugar simultáneamente, las reacciones de reducción pueden globalizarse tomando en cuenta el coeficiente de partición η_{CO} ($\text{CO}_2/\text{CO}+\text{CO}_2$) resultando [3]:



Donde el coeficiente de partición η_{CO} es determinado por las propiedades de los materiales carbonosos en el aglomerado y las condiciones de la reducción (temperatura, calentamiento, atmósfera, etc.). La evolución de las reacciones de reducción de los óxidos de hierro, la volatilización de los materiales carbonosos y la reducción y gasificación de álcalis debido a la activación térmica del proceso en los sistemas A, B y C en función de la temperatura, se muestran en la Figura 1 (datos obtenidos del software HSC Chemistry for Windows 5.1).

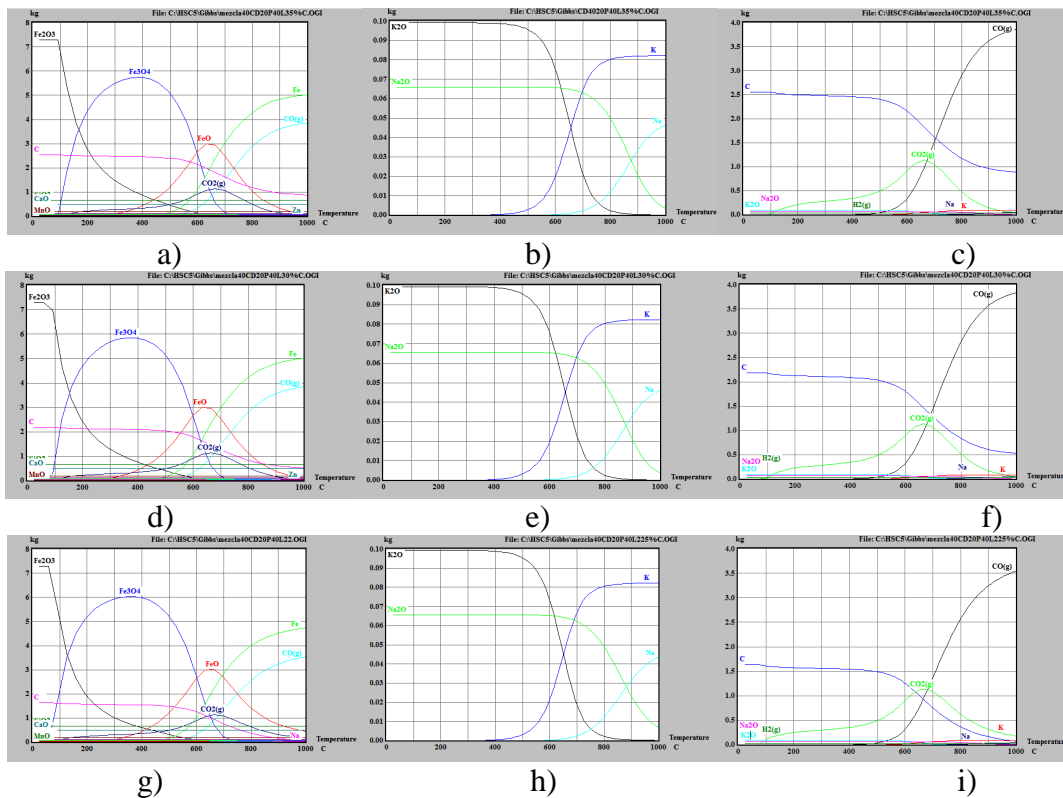


Figura 1. Evolución de las composiciones al equilibrio de los sistemas de mezclas A (a, b, c), B (d, e, f) y C (g, h, i)

Termodinámicamente es factible la reducción de los óxidos en los sistemas de mezclas A, B y C, con porcentajes de reducción superiores al 95% a temperaturas cercanas a los 1000 °C. Las reacciones de reducción inician a temperatura próxima a los 680 °C, aumentando el potencial reductor de la atmósfera en función del incremento de temperatura. El mecanismo de remoción de los álcalis parte de la reducción del K_2O y el Na_2O y vaporización de sus metales (K y Na, respectivamente), que ocurre en el intervalo de temperaturas de 320°C – 1000°C, lográndose la remoción de cerca del 96% de los álcalis. La factibilidad termodinámica de la remoción por gasificación de los álcalis contenidos en la mezcla del aglomerado constituye la base para el desarrollo tecnológico enfocado al aprovechamiento de residuos siderúrgicos que por su contenido de álcalis están siendo desaprovechados actualmente.

3.2 Desarrollo de la briqueta previo a su proceso de termólisis.

Para llevar a cabo la aglomeración de partículas empleando carbón como material aglutinante se pre-calentaron los sistemas de mezcla seguido de un prensado en caliente para aprovechar las propiedades térmicas aglutinantes del carbón. Se elaboraron briquetas utilizando diferentes cargas de prensado en caliente manteniendo las mezclas a una temperatura de 433°C \pm 3°C, para determinar condiciones (carga y temperatura) que favorezcan una mejor consolidación mecánica de la briqueta. Las cargas de prensado aplicadas para la fabricación de las briquetas fueron de 2 toneladas métricas, 4 toneladas métricas, 10 toneladas métricas por un periodo de dos minutos y los productos obtenidos se muestran en la Figura 2. En particular, se aprecia que los mejores resultados de consolidación se generaron aplicando las condiciones de carga de 10 toneladas métricas a una temperatura de 430°C, posiblemente debido al mayor contacto entre partículas, permitiendo posteriormente que, al meteorizar el carbón, la briqueta conserva su geometría.



Figura 2. Briquetas prensadas con carga de: a) 2 toneladas métricas, b) 4 toneladas métricas, c) 10 toneladas métricas

4 CONCLUSIONES

El análisis termodinámico de los sistemas de mezclas proporcionaron los siguientes resultados:

1. El hierro metálico en el sistema bajo estudio se genera predominantemente en el intervalo de temperaturas de 680 a 900°C, alrededor de los 950 °C la proporción de Fe^0 en el aglomerado es cercana al 95%.
2. A temperaturas de \approx 680°C se genera la atmósfera reductora incrementando la proporción de Fe^0 en el aglomerado.

3. El porcentaje de reducción y gasificación de álcalis ($\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$) en el intervalo de temperaturas $25^\circ\text{C} - 1000^\circ\text{C}$ es de alrededor del 96%, por lo tanto, es factible el eliminar estos componentes por medio de una purga de gases lo cual sugiere su posible uso para los procesos de fusión.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Murakami, T., "Enhancement of reduction rate of iron ore by utilizing low grade iron ore and brown coal derived carbonaceous materials", ISIJ International, Vol 51, 1234 - 1239, 2011.
2. Murakami T., "Reduction mechanism of iron oxide-carbon composite with polyethylene at lower temperature", ISIJ International, Vol 51, 9 - 13, 2011.
3. Kasai A., Toyota H., Nozawa K., Kitayama S., " Reduction of reducing agent rate in blast furnace operation by carbon composite iron ore hot briquette", ISIJ International, Vol 51, 1333 - 1335, 2011.
4. Tanaka Y., Ueno T., Okumura K., Hayashi S., "Reaction Behavior of Coal Rich Composite Iron Ore Hot Briquettes under Load at High Temperatures until 1400°C ", ISIJ International, Vol 51, 1240 - 1246, 2011.