

EFFECTO DE PROPORCIONES CRECIENTES DE CALBRADO Y SÍNTER SOBRE LA REDUCIBILIDAD Y EL COMPORTAMIENTO A ALTA TEMPERATURA¹

Pedro Etchevarne²
José Zubimendi²
Claudio Partemio²
Silvina Ramos³
Martín Domínguez³
Elena Brandaleze³
Oscar Baglivo³
Daniel Costoya³

Resumen

La evaluación del comportamiento de materias primas ferrosas empleadas como material de carga a los altos hornos como sinter, pellets y calibrado se realiza de manera individual mediante ensayos rutinarios que involucran la evaluación de las propiedades físicas, químicas y metalúrgicas de manera de poder predecir su comportamiento en el alto horno. Sin embargo estos ensayos no reflejan en su totalidad la condición real del material dentro del alto horno ya que no se considera la interacción de cada materia ferrosa con el resto de la carga. Para poder evaluar este efecto y con el objetivo de profundizar el conocimiento acerca del efecto de mayores proporciones de calibrados en el lecho de fusión del alto horno a diferentes proporciones de sinter en la carga, se diagramó una serie de ensayos con diferentes proporciones de materias primas. Los ensayos involucraron simulación de la degradación y reducción en la cuba del alto horno y su posterior ablandamiento y fusión.

Palabras clave: Materias primas ferrosas; Reducibilidad; Comportamiento a alta temperatura.

THE EFFECT ON THE REDUCIBILITY AT HIGH TEMPERATURE OF DIFFERENT BURDEN MIX WITH SINTER AND IRON ORE CONTENT VARIATION

Abstract

In order to determine the behaviour at operation temperatures of different ferrous raw materials used in the blast furnace burden, different tests are carried out. Physical, mechanical and metallurgical properties are determined by reducibility test and softening and melting test, in order to predict the impact on blast furnace operation. The main objective of this paper is to present comparative results between two different mix of iron ore and sinter, designed as alternative burden charge. The effect on reducibility of different sinter content in the mix, were determined. Finally by the softening and melting test, the evolution of the cohesive zone was studied.

Key words: Ferrous burden; Reducibility; High temperature behaviour.

¹ *Contribuição técnica ao VIII Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 18 a 21 de setembro de 2007, Salvador - BA, Brasil.*

² *Ternium Siderar, 2900 San Nicolás, Bs. As., Argentina*

³ *Laboratorio de Materias Primas - Área Asistencia a Procesos, Instituto Argentino de Siderurgia, Av. Central y 19 Oeste, 2900 San Nicolás, Bs. As., Argentina.*

1 INTRODUCCION

Los materiales ferrosos, en su descenso en el alto horno sufren un proceso de reducción y posterior ablandamiento y fusión.^[1] El fenómeno de ablandamiento y fusión lleva a la formación de una zona viscosa de baja permeabilidad conocida como zona cohesiva la cual afecta la performance del alto horno.

La posición y geometría de la zona cohesiva está determinada por las características de ablandamiento y fusión de las materias primas ferrosas como sinter, pellets y mineral calibrado, siendo esencial para una operación constante y eficiente del alto horno el conocimiento de esta propiedad mediante ensayos a escala de laboratorio.

Algunas investigaciones^[2] concluyen, en base a estudios realizados a escala de laboratorio, que el comportamiento de fusión del sinter puede ser mejorado cuando se mezcla con pellets o con mineral calibrado. En el alto horno el mezclado no es perfecto y una alta proporción de sinter en la carga aumenta los problemas de segregación. Las regiones ricas en sinter varían su comportamiento durante la fusión, generando mayores o menores porcentajes de material residual, dependiendo de la composición química. Esto afecta el ancho de la zona cohesiva y por lo tanto la permeabilidad del alto horno.

Trabajos realizados^[3] con el objeto de entender el comportamiento a alta temperatura de los materiales ferrosos en la operación del alto horno coinciden en la necesidad de mejorar el comportamiento de reducibilidad, ablandamiento y fusión del sinter ya que en el caso de Ternium Siderar es la única materia prima producida internamente. A escala industrial se han obtenido resultados favorables mediante el correcto diseño de la carga, modificando los porcentajes de materia prima ferrosa en el lecho de fusión de los altos hornos.^[4]

Este trabajo tiene como objetivo profundizar el conocimiento acerca del efecto de diferentes proporciones de mineral calibrado y sinter en la carga, presentando los resultados obtenidos. Tanto el ensayo de simulación de comportamiento en la cuba como durante el ablandamiento y fusión, provee información acerca del comportamiento de las muestras en condiciones similares a las correspondientes al proceso del alto horno.

2 DESARROLLO

2.1 Cargas Alternativas

En la Tabla 1 se presentan las cuatro mezclas a estudiar con los diferentes porcentajes de las materias primas involucradas.

Tabla 1. Cargas alternativas y porcentajes de cada materia prima ferrosa.

Cargas alternativas	% Mineral calibrado	% Sinter	% Pellets	IB₂
1	40	30	30	1,2
2	60	30	10	1,0
3	20	60	20	1,4
4	40	60	0	1,2

Las mezclas 1 y 2 se basan en el lecho de fusión a elevadas proporciones de calibrado de los dos altos hornos de Ternium Siderar y las cargas 3 y 4 en la marcha del alto horno 1 a mayores porcentajes de carga de sinter durante el período de relining del alto horno 2. Además se planteó el estudio con dos calidades diferentes

de sinter. En las mezclas 1 y 2 se utiliza sinter industrial actual con una basicidad binaria de 2,6 y un contenido de MgO de 2,3 %. En los ensayos 3 y 4 se emplea un sinter con una basicidad de 2,0 y un contenido de MgO de 1,9 %.

Para el caso de ambos altos hornos en funcionamiento, la proporción de sinter en la carga esta limitada por la capacidad de la planta de sinter por lo que se debe operar con un índice de basicidad y MgO elevado debido a que el sinter es el responsable mayoritario de la formación y calidad de la escoria. En el periodo de relining del alto horno N°2, su participación en la carga se incrementa por lo que es necesario reducir el índice de basicidad y MgO para limitar el volumen de escoria.

2.2. Composición Química de las Materias Primas Ferrosas

Se determinaron las composiciones químicas de las materias primas involucradas en cada carga y se calcularon sus índices de basicidad. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición química de las materias primas utilizadas.

Materia ferrosa	Composición química (%)												
	Fe _{total}	FeO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaO	MnO	S	P	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	IB ₂
Mineral A	66,6	0,28	0,77	3,61	0,018	0,063	0,013	<0,002	0,059	0,01	0,012	0,062	0,02
Mineral B	66,1	0,28	0,83	2,99	0,012	0,051	0,012	<0,002	0,064	0,011	0,013	0,063	0,02
Pellet	65,8	0,37	0,62	2,39	0,07	2,64	-	0,003	0,026	0,013	0,009	-	1,1
Sinter baja IB2	57,7	8,19	0,99	4,85	1,9	9,56	0,22	0,021	0,041	0,027	0,02	0,064	2,0
Sinter alta IB2	55,2	9,34	1,29	4,9	2,37	12,8	0,21	0,052	0,043	0,025	0,024	0,088	2,6

2.3 Ensayo de Simulación de Comportamiento en la Cuba

Este ensayo consta de una reducción no isotérmica y composición variable de los gases tendientes a simular la curva operativa del alto horno.

En la Tabla 3 se puede observar el tiempo requerido para alcanzar una temperatura máxima de 910°C y un determinado grado de reducción donde la relación O/Fe sea 0.5 para cada mezcla.

Tabla 3. Resultados del ensayo de simulación de comportamiento en la cuba.

Carga	1		2		3		4	
Tiempo (min)	202	257	302	280	179	168	193	218

2.4 Ensayo de Ablandamiento y Fusión

La muestra reducida previamente en el ensayo simulación de comportamiento en la cuba es acondicionada entre dos capas de coque dentro de un crisol de grafito. Se inicia luego un calentamiento controlado aplicando presión con un pistón y bajo atmósfera inerte hasta alcanzar los 1600°C.

Los registros del ensayo y los resultados obtenidos para las cuatro cargas se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados del ensayo de ablandamiento y fusión.

Carga	1	2	3	4
TS (°C): Temperatura de inicio de la zona pastosa.	1326	1356	1338	1350
TID (°C): Temperatura de inicio de la precolación.	1416	1440	1498	1537
TP máx (°C): Temperatura de pérdida de carga máxima	1425	1438	1462	1466
TP mín (°C): Temperatura donde se restablece una diferencia de presión similar a TS.	1469	1495	1551	1567
TC 10 (°C): Temperatura al 10% de contracción.	1058	1047	1091	1090
TC 50 (°C): Temperatura al 50% de contracción.	1255	1295	1261	1271
TC 100 (°C): Temperatura al 100% de contracción.	1455	1466	1462	1567
P máx (mmH₂O): Máxima presión registrada a TP máx.	64	85	47	63
TC 100 - TS (°C): Espesor de la zona cohesiva	129	110	123	217
TP mín - TS (°C): Espesor de la zona de baja permeabilidad	143	138	213	217
MR (% a 1500°C): Material no goteado a 1500°C.	20,0	42,9	98,8	99,9
MR (% a 1600°C): Material no goteado a 1600°C.	11,2	12,7	13,9	31,5
PC (mmH₂O / %): Relación presión/contracción a TP máx	0,7	0,9	0,5	0,7
RI 1000°C: Reducción indirecta alcanzada a 1000°C.	66,6	66,6	66,6	66,6

3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Considerando los resultados obtenidos en el ensayo de simulación de comportamiento en la cuba para cada una de las mezclas se observa una tendencia a aumentar la reducibilidad (menores tiempos para alcanzar un grado de reducción determinado) cuando se aumenta el porcentaje de sinter en la carga (Figura 1).

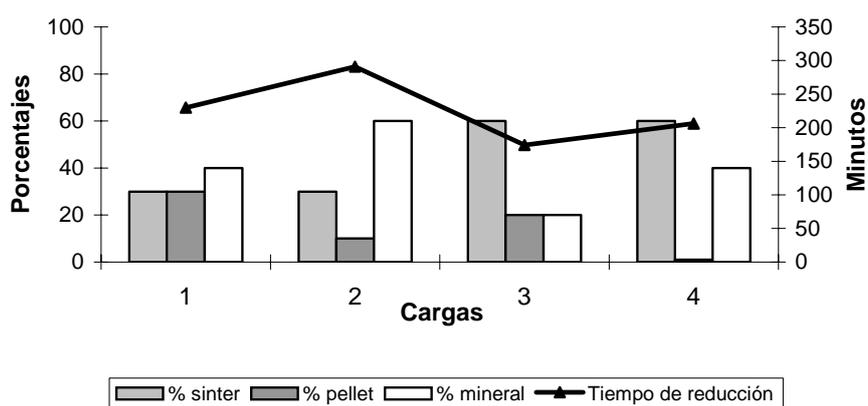


Figura 1. Tiempo de reducción para las distintas cargas.

Este fenómeno se debe al incremento de la porosidad la cual facilita el pasaje de los gases reductores favoreciendo el contacto gas-sólido. Además, se observó una mayor reducibilidad a mayor basicidad del sinter, con formación de fases más reducibles. Para el mismo contenido de sinter en la carga, las mezclas que poseen una mayor reducibilidad son las que contienen menor proporción de calibrados.

En el ensayo de ablandamiento, fusión y percolación se puede observar que hay variaciones en la temperatura de inicio de la zona pastosa al comparar los ensayos con mayor proporción de calibrados (1 y 2) con promedios entre 1326 °C y 1356 °C, así como al comparar los ensayos con mayor proporción de sinter (3 y 4) con promedios entre 1338 °C y 1350 °C.

Cuando se aumenta el porcentaje de sinter en las mezclas se observa un aumento en la temperatura de inicio de la percolación (TID) asociado a aumento del contenido de MgO en la mezcla, responsable en la formación de escorias con mayores puntos de fusión que elevan la temperatura de inicio del goteo.^[1]

Se puede observar también que, para una misma proporción de sinter, la TID disminuye cuando se agrega mayores porcentajes de pellet a la carga, como se observa en la Figura 2. Este fenómeno se debe a que a través del pellet se incorpora una mayor proporción de CaO que actúa como fundente.

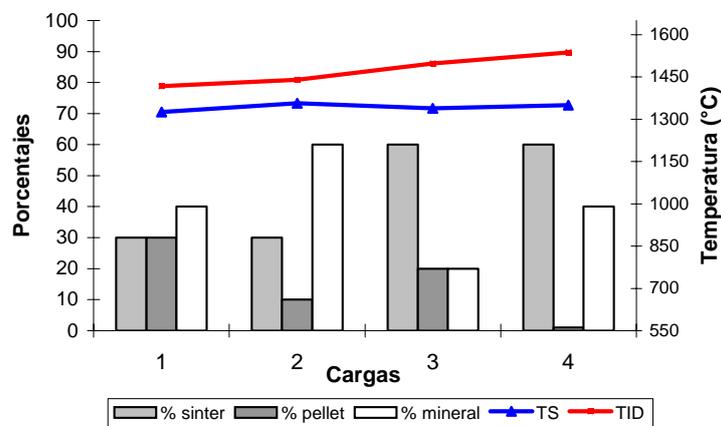


Figura 2. Temperaturas de inicio de la zona pastosa y de inicio de la percolación para las distintas cargas.

En la Figura 3 se observa que a menor proporción de sinter el rango de temperatura que indica el espesor de la zona cohesiva, es menor. A mayor proporción de sinter, se incrementa el MgO que posee influencia la formación de escorias primarias aumentando las zonas donde el mineral se mantiene en un estado pastoso.

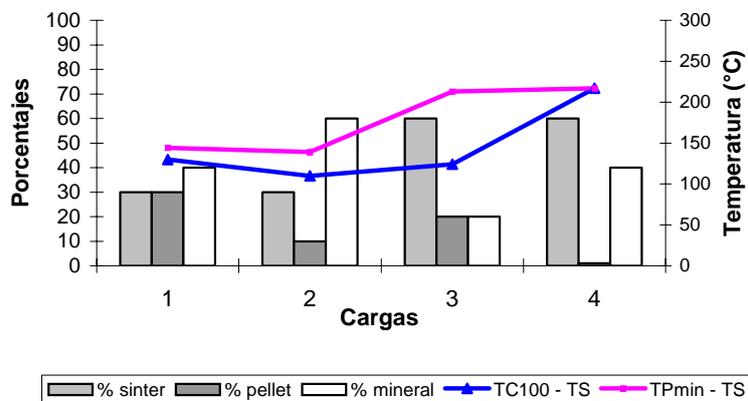


Figura 3. Rango de temperatura donde baja la permeabilidad para las distintas cargas.

Se observa también que todas las mezclas con mayor proporción de sinter presentan un gran porcentaje de material remanente o no goteado a 1500 °C como se observa en las Figuras 4 y 5, debido al aumento del volumen de escoria.

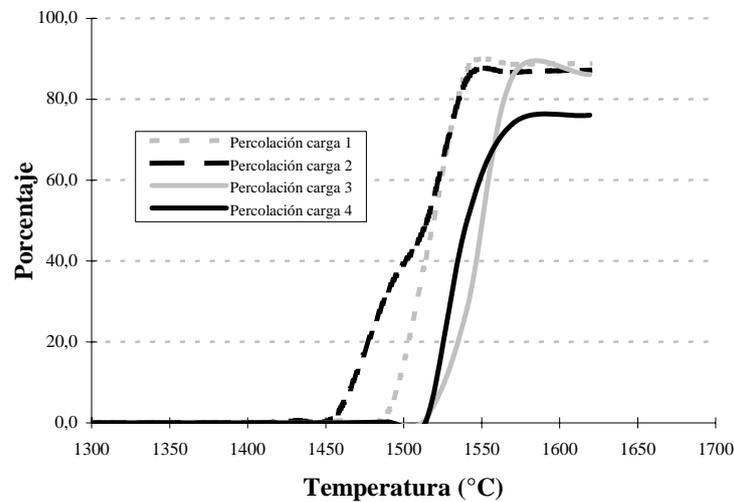


Figura 4. Material percolado durante el ensayo de ablandamiento.

El proceso de retención de metal fundido en la capa de coque se genera cuando por efecto de la reducción directa disminuye el volumen de escoria que exuda inicialmente de las partículas de sinter, rica en FeO. Esta escoria con menor contenido de FeO pierde fluidez y sus propiedades pasan a depender directamente del contenido de CaO, SiO₂, Al₂O₃ y MgO.^[1]

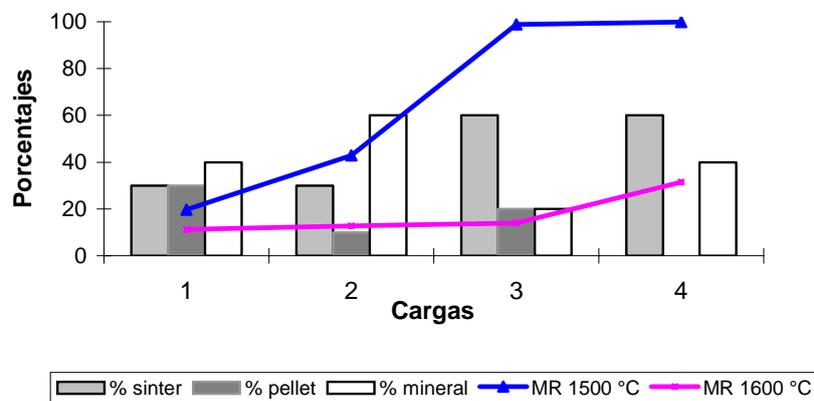


Figura 5. Material remanente para las distintas cargas.

4 CONCLUSIONES

Respecto de los ensayos de reducción, se verificó que la reducibilidad se incrementa en las cargas con mayor proporción de sinter, que presentan una mayor basicidad. Para el mismo contenido de sinter en la carga, poseen mayor reducibilidad las muestras con menor proporción de calibrados. El efecto que posee el incremento de la reducibilidad en las mezclas está asociado con una potencial reducción del consumo de combustible en el alto horno.

Respecto de los ensayos a alta temperatura, el aumento de la cantidad de sinter en la carga produce un incremento del inicio de la precolación asociado a la formación de escorias con mayor punto de fusión al incrementarse el contenido de MgO de la mezcla. Se observa también un aumento del material remanente a los 1500°C que produce un incremento de la zona con menor permeabilidad de los gases en el alto horno.

REFERENCIAS

- 1 M. Matsumura, M Hoshi, T. Kawaguchi, Improvement of sinter softening property and reducibility by controlling chemical compositions, ISIJ International, Vol. 45 (2005), N°4, pp 594-602.
- 2 G. Clixby, Influence of softening and melting properties of burden materials on blast furnace operation, Ironmaking and Steelmaking, Vol. 13, N° 4, 1986.
- 3 R. Bergstrad, Optimisation of ferrous burden high temperature properties to meet blast furnace requirements in British Steel, Ironmaking Conference Proceedings, 1996.
- 4 L. Bonte, R Vervenne y F. Stas, Burden composition of sidmar blast furnace for the realization of high quality, low cost hot metal production, Ironmaking Conference Proceedings, 1999.
- 5 P. R. Dawson. Determination of the high temperature properties of Blast Furnace burden materials – SEASI Quarterly – Vol. 16, N°1 – January 1987.