Rodríguez Gustavo, Silveira Walter.
{grodriguezmalaver@hotmail.com}
UNEXPO, Puerto Ordaz

Modelo matemático para determinar la composición química de las escorias de acerías.

Resumen—Con esta ponencia se presenta la metodología seguida para desarrollar un modelo matemático que permita determinar la composición química de las escorias de fusión en una planta siderúrgica integrada, tomando como base la composición química del mineral de hierro, y considerando las transformaciones que sufre el material a través de los diferentes procesos, hasta llegar a la producción de acero líquido y escorias de fusión como subproducto de este proceso final.

Se toma en cuenta la composición química del mineral, los cambios químicos y físicos del material, los patrones de carga, rendimiento, estequiometría y balance de masa, y con base a ellos se determina con un modelo matemático, la composición química de la escoria de fusión.

Los valores obtenidos en la composición de la escoria se corresponden con valores obtenidos por fluorescencia de rayos-x (FRX).

Palabras clave— Escorias de acería, modelo matemático, pellas de mineral de hierro, reducción directa..

I. INTRODUCCIÓN

Una siderúrgica integrada es aquella donde entra mineral de hierro como materia prima y salen productos semielaborados de acero. En todo proceso de aceración se produce una cantidad importante de escorias de fusión [1], que pueden llegar hasta 200 kg por toneladas de acero líquido producido. La escoria es una mezcla de diferentes óxidos de metales y no metales, que se transforman en un importante pasivo ambiental.

En los procesos siderúrgicos que incluyen metalurgia secundaria se genera otro tipo de escoria que no será considerada en el presente trabajo. La Siderúrgica del Orinoco, Sidor, es una siderúrgica integrada que consta de una planta de pellas, plantas de reducción directa y dos acerías con hornos eléctricos de arco. El presente trabajo está referido a una siderúrgica como Sidor, pero con algunos ajustes podría aplicar a plantas con procesos y tecnologías diferentes.

Los procesos considerados para la producción de acero y escorias son:

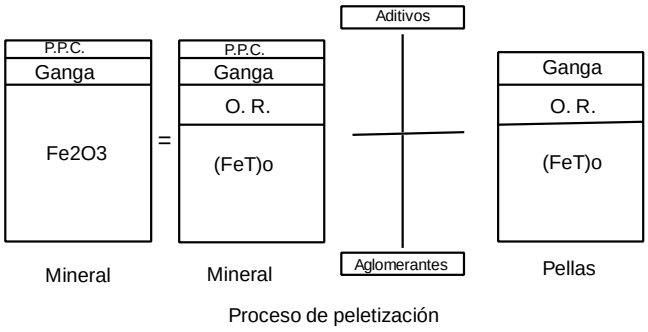
1.- Peletización del mineral de hierro,

2.- Reducción directa de las pellas de mineral de hierro,

3.- Proceso de aceración.

1.- Peletización de mineral de hierro:

Consiste en la aglomeración del mineral de hierro, para obtener un material de forma esférica, con una granulometría y resistencia a la compresión adecuada para el siguiente proceso, reducción directa de este material. En este proceso, se agregan aglomerantes y aditivos en cantidades relativamente pequeñas, pero el contenido en toneladas de mineral se mantiene constante, la ganga aumenta por el agregado de sustancias para controlar la basicidad del producto y la pérdida por calcinación disminuye casi a cero en el proceso de quemado de la pella, que ocurre altas temperaturas y en atmósfera oxidante. El producto (pellas) tendrá una composición que será proporcional al patrón de carga, la composición química del mineral y a las características propias del proceso. En el cuadro siguiente se muestra un esquema del proceso de peletización:



P. P. C. = Pérdida por calcinación

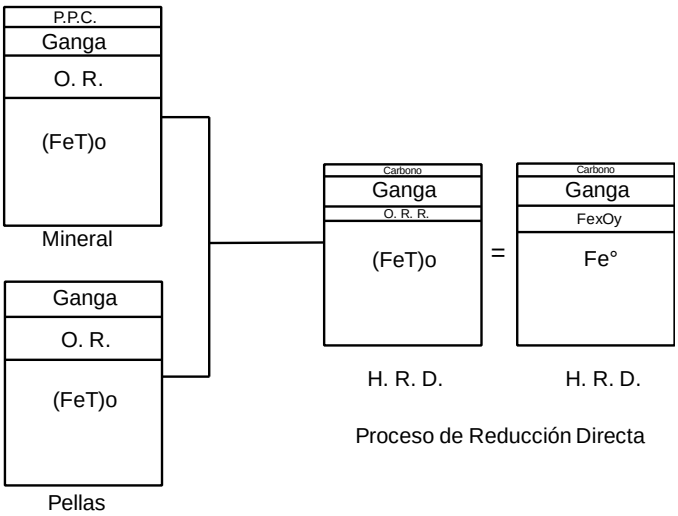
O. R. = Oxígeno reducible, oxigeno presentes en el óxido de hierro.

(FeT)o = Término estequiométrico que cuantifica la cantidad de hierro presente en una pella o mineral, considerando que todo el hierro está como Fe_2O_3 y la P.P.C. es cero [2].

En este proceso la pérdida por calcinación se reduce casi a cero, los aditivos y aglomerantes pasan a la ganga, y el producto tendrá un contenido de hierro total inicial y ganga ligeramente mayor al contenido en el mineral y proporcional a la carga.

2.- Reducción directa de las pellas de mineral de hierro.

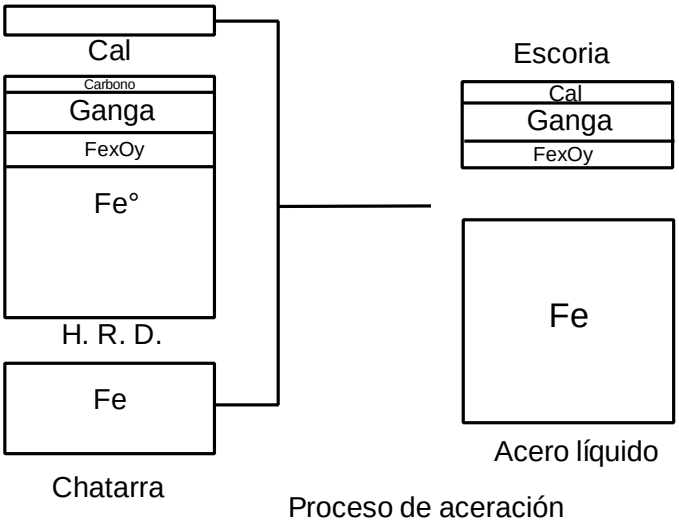
Este proceso por definición es “un proceso de reducción para la obtención de hierro metálico a temperaturas inferiores al punto de fusión del hierro, mineral de hierro e impurezas que acompañan al mineral” [3]. El producto es un material que tiene un alto contenido de hierro metálico y recibe en nombre genérico de hierro de reducción directa (H. R. D.). La materia prima en este proceso puede ser pellas o mezclas de pellas y mineral de hierro grueso. En el cuadro siguiente se muestra el esquema del proceso de reducción directa:



En este proceso disminuye el contenido de oxígeno reducible a valores inferiores al 3 %, y se deposita carbono por la presencia de monóxido de carbono (CO) en el gas reductor. Nuevamente el contenido de hierro y ganga aumentan proporcionalmente al grado de reducción del proceso.

3.- Proceso de aceración.

En el proceso de aceración se separa el hierro de todas las impurezas, se funde a temperaturas superiores a los 1.500 oC y acero líquido es separado de la escoria. La escoria está conformada por todos los óxidos e impurezas presentes en el proceso. Conociendo el patrón de carga y con cálculos matemáticos adecuados se puede determinar el contenido de cada especie presente en la escoria. En el cuatro siguiente se muestra un esquema del proceso de aceración:



Según como sea la composición química del mineral de hierro que entre a la siderúrgica integrada, se podrá determinar la composición química de la escoria y su cantidad por cada tonelada de acero producido.
Con este trabajo se espera predecir la composición de la escoria y compara con análisis químicos realizados por diferentes vías ya sea Absorción Atómica o Fluorescencia de Rayos-X, esto permitirá reducir el número de análisis químicos, clasificar las escorias según el tipo de mineral procesado y estimar su composición según la época de producción de dicha escoria.
. Este material constituye un importante pasivo ambiental y se han desarrollado en el tiempo, diferentes propuesta para un uso comercial, que incluyen producción de cemento, construcción de carreteras, fertilizante y como agente desulfurante de gas natural en reducción directa [4].

DESARROLLO

Con base a las características de cada proceso se preparó una hoja Excel por separado.. En la primera hoja que se muestra a continuación se muestran las entradas y salidas para el cálculo de la composición química de la pella, según la calidad del material y el patrón de carga.

PROCESO DE PELETIZACION

ENTRADA (INPUT)
SALIDA (OUTPUT)
MINERAL FINO

Especie	%
Feº	
FeO	0,500
Fe2O3	91,860
FeT	64,750
C	0,010
S	0,008
SiO2	1,500
CaO	0,050
Al2O3	0,700
MgO	0,050
TiO2	
MnO2	
P	0,095
Na2O	
K2O	
Balance prev	2,413
PPC	5,227
Otros	0,000
Ganga total	7,640
Balance	100,000

PATRON DE CARGA

Material	Tonelaje
Mineral fino	95,00
Mineral ret.	2,00
Dolomita	2,00
Caliza	0,00
Antracita	1,00
Balance	100,00

DOLOMITA

Dolomita	Especie
CaCO3	57,80
MgCO3	36,70
P2O5	1,00
Otros	4,50
Balance	100,00

CALIZA

Especie	%
CaCO3	
MgCO3	
P2O5	
Otros	
Baance	

ANTRACITA

Especie	%
Carbono fijo	94,8
Cenizas	2,1
Mat. Volatil	3,01
S	0,01
Otros	0,08
Balance	100,00

PRODUCTO: PELLA QUEMADA

Especie	%
FeO	0,50
Fe2O3	94,75
FeT	66,27
C	0,010
S	0,008
SiO2	1,54
CaO	0,73
Al2O3	0,72
MgO	0,36
TiO2	0,000
MnO2	0,000
P	0,106
Na2O	0,000
K2O	0,000
PPC	0,00
Otros	1,28
Ganga total	4,75
Basisidad2	0,48
Basisidad4	0,49
Balance	100,00

Para el proceso de reducción directa se toman en cuenta los valores obtenidos para la pella, pero existe una opción para el caso de patrones de carga que incluyan mineral grueso. A continuación se muestra la hoja de cálculo correspondiente:

PROCESO DE REDUCCION DIRECTA

ENTRADA (INPUT)
SALIDA (OUTPUT)

Pellas Quem.	Especie
FeO	0,500
Fe2O3	94,750
FeT	66,272
C	0,010
S	0,008
SiO2	1,535
CaO	0,734
Al2O3	0,716
MgO	0,363
TiO2	0,000
MnO2	0,000
P	0,106
Na2O	0,000
K2O	0,000
Balnce prev	0,000
PPC	0,000
Otros	1,276
Ganga total	4,750
Basisidad2	0,478
Balance	0,487

PATRON DE CARGA

Pellas Quem.	90,00
Mineral Grueso	10,00
Balance	100,00

Mineral Grueso	Especie
FeO	0,50
Fe2O3	91,86
FeT	64,75
C	0,01
S	0,01
SiO2	1,50
CaO	0,05
Al2O3	0,70
MgO	0,05
TiO2	0,000
MnO2	0,000
P	0,095
Na2O	0,000
K2O	0,000
Balance prev	2,413
PPC	5,227
Otros	0,000
Ganga total	7,640
Basisidad2	0,033
Balance	100,00

HRD	Especie
Carbono	2,00
Azufre	0,010
Fe metálico	82,00
FeT inicial	66,12

PRODUCTO: HRD

Especie	%
Feº	82,00
FeO	6,06
Fe2O3	1,27
FeT	87,62
Metalización	93,58
C	2,00
S	0,010
SiO2	3,41
CaO	1,48
Al2O3	1,59
MgO	0,74
TiO2	0,000
MnO2	0,000
P	0,233
Na2O	0,000
K2O	0,000
Otros	1,204
Ganga total	8,66
Basisidad2	0,435
Basisidad4	0,444
Balance	100,00

Finalmente se muestra la hoja donde se realizan los cálculos para la composición química de la escoria.

PROCESO DE ACERACION

ENTRADA (INPUT)
SALIDA (OUTPUT)

Especie	%
Feº	82,000
FeO	6,060
Fe2O3	1,273
FeT	87,621
Metalizaciór	93,585
C	2,000
S	0,010
SiO2	3,409
CaO	1,482
Al2O3	1,591
MgO	0,739
TiO2	0,000
MnO2	0,000
P	0,233
Na2O	0,000
K2O	0,000
Otros	1,204
Ganga total	8,657
Basisidad2	0,435
Basisidad4	0,444
Balance	100,000

PATRON DE CARGA

HRD	80,00
CHATARRA	20,00
Balance	100,00

Mat. Prima	Tonelaje	%
HRD	160	77,29
CHATARRA	40	19,32
Cal	7	3,38
Total	207	100,00

CAL VIVA

CaO	95,00
	0,00
Otros	5,00
	100,00

SUBPRODUCTO: ESCORIA

Especie	%
S	0,07
FeO	38,71
SiO2	17,99
CaO	29,76
Al2O3	8,40
MgO	3,90
TiO2	0,00
MnO2	0,00
P	1,23
Na2O	0,00
K2O	0,00

Con este modelo matemático se espera conocer mejor los procesos involucrados, predecir la composición química de productos y estimar el rendimiento para cada proceso.

CONCLUSIONES

El modelo matemático desarrollado permite conocen la composición química del producto, tomando como base la composición química de la materia prima, patrones de carga y características del proceso. Aplica a procesos siderúrgicos integrados que incluyen la peletización, reducción directa y aceración.
Con este modelo, se puede determinar la composición química de la escoria, no solo actual, con datos históricos se podría determinar la composición de la escoria a través del tiempo

RECOMENDACIÓN

Se recomienda incorporar a la hoja de cálculos, los algoritmos que permitan calcular la cantidad de ganga y escoria, por tonelada de producto producido.

REFERENCIAS

[1] Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. “Escorias de Acerías de Horno de Arco Eléctrico”. Ministerio de Fomento. España, 2011.

[2] Gustavo Rodriguez “Reducción Directa” Manual de curso. 2006

[3] Robert L. Stephenson. “Direct Reduced Iron”, Tecnology and Economics of Production and Use. Warrendale , U.S.A., 1980.

[4] Johnny Saavedra Lopez. “Técnicas Experimentales de Alta Capacidad Aplicadas al Desarrollo de Nuevos Materiales Catalizador/Adsorbente para su Utilización en la Desulfuración de Gas Natural”. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. España, 2010.