



ESPAÑA

~~2 JUN 1978~~
CO. ...

PATENTE DE INVENCION

19 ES	11 NUMERO 456.875	10 A1
21	22 FECHA DE PRESENTACION 15-3-77	

Concedido el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

AC - 5 OCT. 1978

30 PRIORIDADES:	32 FECHA	33 PAIS
31 NUMERO 698.001	21-6-76	Estados Unidos

47 FECHA DE PUBLICIDAD	51 CLASIFICACION INTERNACIONAL GOLD; C21B	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
------------------------	--	--------------------------------------

54 TITULO DE LA INVENCION
UN METODO PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DE SEPARACION DE OXIGENO DE UN MINERAL DE METAL OXIDICO.

71 SOLICITANTE (S)
FIERRO ESPONJA, S.A.

DOMICILIO DEL SOLICITANTE
Avenida los Angeles al Oriente, Monterrey, N.L. República México.

72 INVENTOR (ES)
Patrick William MacKay, de nacionalidad estadounidense; Enrique Martínez Vera, de nacionalidad estadounidense y Ramón de la Pena, de nacionalidad mexicana.

73 TITULAR (ES)

74 REPRESENTANTE
D. BERNARDO UNGRIA GOIBURU

POOR
QUALITY

1 Extracto de la Invención

5 Un método y aparato para medir el porcentaje de reducción de mineral de hierro en un reactor de reducción de un sistema de reducción gaseosa de reactores múltiples. De conformidad con una modalidad preferida, se miden el flujo y la composición del gas de reducción alimentado al reactor de reducción y el flujo y la composición del gas afluente del reactor después de enfriamiento y las medidas son alimentadas a una computadora junto con los datos del peso inicial de la carga al reactor, el contenido de humedad de la carga y el oxígeno reducible inicial en la carga. La computadora se programa para calcular la velocidad de separación del oxígeno de la carga, integrar esta velocidad de separación con respecto al tiempo y comparar la integral con el contenido inicial de oxígeno de la carga para evaluar el porcentaje de reducción de la misma.

15 Esta invención se refiere a la reducción gaseosa intermitente de minerales de óxido de metal en un sistema de reducción gaseosa de etapas múltiples del tipo en el cual se tratan simultáneamente cuerpos separados de material metalífero, en una pluralidad de reactores, para producir metal esponja. Más particularmente, la invención se refiere a un nuevo método y aparato para medir el porcentaje de reducción que ha ocurrido en un lecho de material metalífero en un reactor de reducción de dicho sistema. La invención se describirá ilustrativamente en relación con la reducción de mineral de hierro, para producir hierro

20

25

30

1 esponja, aunque a medida que prosigue la descripción
será aparente que la invención puede utilizarse igual-
mente bien en la reducción de otros minerales oxídi-
cos, v.gr. aquellos de níquel, cobre y estaño.

5 Los sistemas de reducción gaseosa típicos,
en donde puede emplearse útilmente la presente inven-
ción, se describen en las Patentes de los Estados Uni-
dos 2,900,247; 3,423,201; 3,890,142; y 3,904,397. Los
10 sistemas de reducción del tipo mostrado en estas pa-
tentes son esencialmente sistemas de lecho fijo que
comprenden comúnmente un reactor de enfriamiento y
dos reactores de reducción que contienen lechos fijos
de material ferrífero, y un cuarto reactor del cual
15 se descarga el hierro esponja y el cual se carga con
mineral nuevo mientras se están llevando a cabo las
etapas de enfriamiento y reducción en los otros reacto-
res del sistema. Al final de un ciclo de operaciones,
los reactores se intercambian funcionalmente para pro-
vocar que el reactor de reducción de la primera etapa
20 se haga el reactor de reducción de la segunda etapa,
el reactor de reducción de la segunda etapa se haga el
reactor de enfriamiento, el reactor de enfriamiento
se haga el reactor de recargado, y el reactor de re-
cargado se haga el reactor de reducción de primera
25 etapa.

El mineral se reduce en los reactores de re-
ducción y el hierro esponja se enfría simultáneamente
en el reactor de enfriamiento haciendo pasar un gas
reductor en secuencia a través de los lechos del mate-
30 rial ferrífero depositado en los reactores. Típicamen-

1

te, el gas reductor, el cual en gran parte está compuesto de monóxido de carbono e hidrógeno y que contiene cantidades menores de metano y dióxido de carbono, se hace pasar primero a través de un reactor de enfriamiento del sistema y después en secuencia a través de un reactor de reducción de segunda etapa y un reactor de reducción de primera etapa. Desecablemente, el gas efluente de cada reactor se enfría para separar agua del mismo y en el caso de los reactores de reducción, se recalienta a una temperatura elevada antes de entrar al reactor. El gas de reducción puede prepararse convenientemente mediante reformación catalítica de una mezcla de vapor y gas natural en un reformador catalítico calentado, en una forma conocida.

5

10

15

En uno de sus aspectos, la presente invención está relacionada con el problema de proporcionar una medida continua del grado en el cual ha ocurrido la reducción del mineral de hierro en uno o más reactores de reducción de dicho sistema. Dicha determinación es útil para permitir que el operador de la planta determine mejor cuando se ha completado un ciclo dado de operaciones y cuando debe iniciarse un nuevo ciclo de enfriamiento y reducción.

20

25

Durante el paso del gas reductor a través del lecho del material ferrífero en un reactor de reducción del sistema, la composición del gas cambia como consecuencia de la separación del oxígeno del mineral de hierro y, por lo tanto, es teóricamente posible determinar el grado en el cual ha ocurrido la reducción del mineral, midiendo los cambios en la com-

30

1 posición del gas. Sin embargo, cuando se hace un es-
fuerzo para medir el porcentaje de reducción, se en-
cuentra un número de problemas prácticos. En primer
5 lugar, los constituyentes del gas de reducción reac-
cionan con el oxígeno del mineral de hierro mediante
una pluralidad de reacciones que en general, son re-
versibles y tienen un equilibrio que depende de la
temperatura. De esta manera, ocurre una serie bastan-
te compleja de cambios dentro de la zona de reducción
10 del reactor. Aunque existen aparatos comercialmente
disponibles para medir rápida y continuamente la ma-
yoría de los constituyentes del gas reductor, esto
es, monóxido de carbono, hidrógeno, metano y dióxido
de carbono, la medida exacta del vapor de agua en el
15 gas de reducción presenta un problema, particularmen-
te en aquellos sistemas en donde el gas efluente del
reactor de reducción se enfría y se deshidrata en una
torre de enfriamiento rápido mediante contacto direc-
to con agua de enfriamiento.

20 Un problema adicional encontrado surge del
hecho de que el gas efluente del reactor contiene una
cantidad considerable de polvo suspendido. Este pol-
vo tiende a interferir con la medida exacta del flujo
y la composición del gas.

25 Consecuentemente, es un objeto de la presen-
te invención proporcionar un nuevo aparato y un nuevo
método para medir el porcentaje de reducción de un
mineral oxídico en un reactor de reducción de lecho
fijo. Es otro objeto de la invención proporcionar un
30 método y aparato nuevos para obtener una medida con-

1 tínua del grado en el cual ha ocurrido la reducción,
desde el principio de un ciclo de reducción en uno o
5 más reactores de reducción de lecho fijo de un siste-
ma de reducción gaseosa, de mineral de hierro, del
tipo referido anteriormente. Otros objetos de la in-
vención en parte se puntualizarán posteriormente en
la presente.

10 Los objetos y ventajas de la presente in-
vención se logran en general midiendo el flujo y la
composición del gas reductor que fluye a un reactor de
reducción antes de que se caliente el gas y se alimen-
te al reactor, midiendo el flujo y la composición de
15 gas de reducción efluente del reactor después de que
se ha enfriado rápidamente y correlacionando estas me-
didas del flujo y composición con el contenido inicial
de oxígeno del lecho ferrífero dentro del reactor pa-
ra determinar el grado en el cual ha ocurrido la re-
ducción del mineral de hierro.

20 Como se indicó anteriormente, no parece ser
posible obtener una determinación exacta del porcenta-
je de reducción a través del empleo de una técnica de
balance de materia convencional debido a la dificultad
de obtener una medida exacta del cambio en el conteni-
do de agua del gas que fluye a través del reactor de
25 reducción. El gas efluente del reactor fluye a un en-
friador de contacto directo en donde se enfría rápida-
mente y se deshidrata mediante un contacto directo con
agua de enfriamiento. El enfriador de contacto direc-
to sirve también para separar una cantidad considera-
30 ble de polvo presente en el gas efluente del reactor

1 de reducción. Si se toma una muestra entre el reactor
y el enfriador, el polvo presente en la corriente de
gas, hace difícil determinar exactamente la composición
5 y el contenido de vapor de agua del gas. Por otra par-
te, si se toma una muestra del gas efluente del enfria-
dor, la composición del gas diferirá de la composición
del gas efluente del reactor por la cantidad de agua
que se ha separado de la corriente de gas en el enfria-
dor de contacto directo. Ya que esta agua separada se
10 mezcla con una cantidad mucho más grande de agua de en-
friamiento, no puede medirse exactamente.

De conformidad con una modalidad preferida de
la presente invención, este problema se evita determi-
nando el flujo y la composición del gas alimentado al
15 reactor antes de que se caliente y alimente al reactor,
determinando el flujo y la composición del gas efluente
del reactor después de que se ha enfriado y deshidra-
tado y correlacionando los valores medidos estos flujos
y composiciones para determinar la velocidad de la sepa-
20 ración del oxígeno, del lecho de material ferrífero en
el reactor. La velocidad de la separación del oxígeno
puede ser integrada entonces para proporcionar una se-
ñal que indica en forma continua el porcentaje de re-
ducción del mineral. Según se puntualizará más comple-
25 tamente en la presente a continuación, es posible uti-
lizar una combinación de balance de hidrógeno y un ba-
lance de oxígeno para obtener una determinación acepta-
ble de la separación de oxígeno del mineral en el reac-
tor de reducción sin hacer ninguna medición del cambio
30 en la cantidad de vapor de agua en el gas.

1 De conformidad con una segunda modalidad del
método presente, se determinan el flujo y la composi-
ción del gas de alimentación del reactor, pero no se
5 hace una medida del flujo del gas efluente; únicamente
se determina la composición del gas efluente. De con-
formidad con esta modalidad, puede omitirse la medida
del flujo del gas efluente del reactor, utilizando una
combinación de tres balances de material, a saber, un
10 balance de hidrógeno, un balance de oxígeno y un ba-
lance de carbono, para determinar el régimen de sepa-
ración de oxígeno, del mineral.

En general, la primera modalidad se utiliza
deseablemente en donde las condiciones de operación
del reactor de reducción y/o la composición de gas de
15 alimentación son tales que la carburización del mate-
rial ferrífero ocurre en forma similar, mientras que
la segunda modalidad se utiliza deseablemente cuando
las condiciones de operación en el reactor y la compo-
sición del gas de alimentación son tales que existe
20 poca probabilidad de que el contenido de carbono del
gas de alimentación cambiara a medida que pasa a tra-
vés del reactor. Ya que la primera modalidad de la
invención es la modalidad más general, ésta se descri-
birá primero.

25 Los objetos y ventajas de la invención pue-
den entenderse y apreciarse mejor haciendo referencia
al dibujo anexo que ilustra diagramáticamente una mo-
dalidad preferida del aparato de la invención parti-
cularmente adaptado para ser utilizado para la reali-
30 zación de la primera modalidad del método de la in-

1 vención. Más particularmente, el dibujo ilustra un
reactor de reducción de un sistema de reducción gaseosa
de mineral de hierro del tipo descrito, por ejemplo,
5 en la Patente de los Estados Unidos 3,423,201. El reac-
tor puede contener un lecho de mineral de hierro par-
cialmente reducido o un lecho de mineral de hierro pa-
ra reducirse, y está provisto de un aparato para medir
continúamente el grado en el cual el cuerpo de material
ferrífero en el lecho se ha reducido, esto es, el por-
10 centaje promedio de reducción en el lecho.

 Con referencia al dibujo, el número 10 desig-
na un reactor de reducción que corresponde generalmen-
te a uno de los reactores del sistema de reducción de
la Patente 3,423,201, y que se provee con una cámara
15 de combustible 12 que comunica con el interior del mis-
mo. Como se describe en la Patente No. 3,423,201 y se
delineó anteriormente, los sistemas de reactores múlti-
ples de lecho fijo del tipo en el que es especialmente
útil la presente invención, comprenden comúnmente cua-
20 tro reactores operados en una forma cíclica con cada
reactor del sistema utilizado sucesivamente como un
reactor en primera etapa de reducción, un reactor en
segunda etapa de reducción, un reactor en enfriamiento
y un reactor en carga y descarga. En los sistemas que
25 comprenden tres o más reactores de reducción, cada
reactor se utiliza para llevar a cabo tres o más eta-
pas de reducción. El método y el aparato de la inven-
ción están adaptados para utilizarse para determinar e
indicar el porcentaje de reducción en un reactor de
30 dicho sistema durante el intervalo de tiempo en que se

1 realiza una función de reducción, v.gr. durante los pe-
ríodos de la primera y segunda etapa de reducción cuan-
do se utiliza un sistema de cuatro reactores o durante
5 las tres etapas de reducción utilizadas en un sistema
de cinco reactores. En la siguiente descripción se su-
pondrá que el reactor 10 es parte de un sistema de
cuatro reactores.

10 Con referencia al lado izquierdo del dibujo,
el gas reductor procedente del reactor anterior del
sistema (que puede ser ya sea un reactor de enfriamien-
to u otro reactor de reducción) fluye a través de un
tubo 14 a un calentador 16 en donde se calienta a una
temperatura de digamos 700° a 800°C. Desde el calen-
tador 16, el gas fluye a través del tubo 18 a la cáma-
15 ra de combustión 12 que puede ser del tipo descrito en
la Patente de los Estados Unidos 2,900,247. Como se
describe en esa Patente, el gas que fluye a la cámara
de combustión se mezcla con una cantidad menor de gas
que contiene oxígeno y se quema parcialmente para for-
20 mar una mezcla a una temperatura aún más elevada de
digamos 750° a 900°C. Desde la cámara de combustión
12, el gas caliente fluye al reactor y descendente-
mente a través del lecho de material ferrífero, allí
dentro.

25 Según se indica en el dibujo, el gas efluen-
te del calentador 16 puede pasarse a través de un sobre
calentador 19 para elevar su temperatura a la tempera-
tura de reducción deseada, en tal caso puede prescindir-
se de la cámara de combustión 12.

30 El gas que contiene oxígeno mezclado con el

1 gas reductor en la cámara de combustión 12 puede ser
ya sea aire u oxígeno o una mezcla de aire y oxígeno.
Con referencia a la porción izquierda superior del di-
bujo, puede suministrarse aire a la cámara de combus-
5 tión a través de un tubo 20 conectado a un calentador
22 en donde se precalienta el aire a una temperatura
elevada, v.gr. 700°C. Desde el calentador 22 el aire
calentado fluye a través de un tubo 24 que contiene
una válvula 26 a la cámara de combustión 12. Si se
10 utiliza oxígeno en lugar de, o además de aire, el oxí-
geno no necesita ser precalentado. De esta manera,
puede suministrarse oxígeno al sistema a través de un
tubo 28 que contiene una válvula de cierre 30 y se co-
necta al tubo 24 el cual a su vez conduce a la cámara
15 de combustión 12.

Después de fluir a través del lecho del mi-
neral parcialmente reducido en el reactor 10, el gas
deja el reactor a través del tubo 32 y fluye hacia y a
través de un enfriador 34 de contacto directo en don-
20 de se enfría, se deshidrata y se separa el polvo del
mismo. Desde el enfriador de contacto directo 34, el
gas enfriado fluye a través del tubo 36 al siguiente
reactor en secuencia o a un punto adecuado de almace-
namiento se emplea como un gas combustible.

25 Al describir el aparato utilizado para de-
terminar el porcentaje de reducción, se hará referen-
cia a la composición del gas en cinco lugares dife-
rentes designados como "1" a "5" en el dibujo. El lu-
gar "1" es el tubo 14 a través del cual el gas reduc-
30 tor proveniente de los reactores de enfriamiento fluye

1 al calentador 16 del reactor de reducción 10; el lugar
"2" es el tubo 32 entre el reactor 10 y el enfriador 34;
el lugar "3" es el tubo 36 que lleva gas efluente del
enfriador 34; el lugar "4" es el tubo 20 a través del
5 cual fluye aire al calentador de aire 22; el lugar "5"
es el tubo 28 a través del cual fluye oxígeno a la cá-
mara de combustión 12 del reactor 10.

10 En el lugar "1" existe un orificio 38 que for-
ma parte de un medidor de flujo de orificio 40. La pre-
sión diferencial a través del orificio 38 y la presión,
la temperatura y la densidad relativa del gas que fluye
a través del tubo 14 se miden y se correlacionan en el
medidor 40 para producir una señal proporcional a la ra-
zón de flujo de gas en el lugar "1", dicha señal se
15 transmite a la computadora 42. Como se indica en el di-
bujo, el flujo se determina correlacionando la presión
diferencial a través del orificio 38 con la presión, la
temperatura y la densidad relativa del gas que fluye a
través del tubo 14 de acuerdo a la conocida forma de
20 flujo:

$$F = K \sqrt{\frac{hP}{GT}}$$

en donde:

- 25 h = diferencia de presión a través del ori-
ficio,
P = presión absoluta estática en el orificio,
G = densidad relativa del gas con relación al
aire,
T = temperatura absoluta del gas en el orifi-
cio
30 K = constante de orificio corregida para dar

la razón de flujo de gas seco,

F = razón de flujo molar.

También, la composición de gas en el lugar "1" se determina mediante una serie de dispositivos analíticos 44 a 50. Más particularmente, el contenido de hidrógeno del gas expresado como la fracción molar de hidrógeno X_{1H_2} se determina en el dispositivo analítico 44, el contenido de monóxido de carbono en el gas expresado como la fracción molar de monóxido de carbono X_{1CO} se determina en el dispositivo analítico 46, el contenido de dióxido de carbono del gas expresado como la fracción molar del dióxido de carbono X_{1CO_2} se determina en el dispositivo analítico 48, y el contenido de metano del gas expresado como la fracción molar del metano X_{1CH_4} se determina en el dispositivo analítico 50. Cada uno de los dispositivos analíticos produce una señal que es una función de la proporción del componente particular en la corriente de gas en el lugar "1" y esta señal se transmite a la computadora 42.

La composición de gas y la razón de flujo de gas en el lugar "3" se miden en una forma similar. Más particularmente, se proporciona un orificio 52 en el tubo 36 y coopera con un medidor 54 de orificio que responde a la presión diferencial a través del orificio así como también a la presión, la temperatura y densidad relativa del gas que fluye a través del tubo 36 para generar una señal que es una función de la razón de flujo del gas y que se transmite a la computadora 42. Los dispositivos de análisis de gas 56 a 62 se

1 proporcionan para determinar, respectivamente, la frac-
ción molar de hidrógeno X_{3H_2} , la fracción molar de mo-
nóxido de carbono X_{3CO} , la fracción molar de dióxido de
5 carbono X_{3CO_2} , y la fracción molar de metano X_{3CH_4}
del gas que fluye a través del tubo 36. Los disposi-
tivos de análisis producen señales que corresponden a
las fracciones molares de los varios componentes de
gas, dichas señales se transmiten a la computadora 42,
como se indica en el dibujo. En el lugar "4" existe
10 un orificio 64 en el tubo 20 que coopera con un medi-
dor de orificio 66 que responde a la presión diferen-
cial a través del orificio 64, así como también a la
presión del gas que fluye a través del tubo 20 para
15 generar una señal que es una función del flujo de aire
a la cámara de combustión 12. La señal generada por
el medidor 66 se transmite a la computadora 42. Ya que
el gas que fluye a través del tubo 20 es aire atmos-
férico, únicamente necesita medirse la presión diferen-
20 cial a través del orificio 64 y la presión del gas que
fluye; la densidad relativa y la temperatura pueden
considerarse constantes. También, ya que el aire
atmosférico tiene una composición constante, no se re-
quieren dispositivos analíticos para determinar la com-
25 posición del gas que fluye a través del tubo 20. Como
se indicó en el dibujo, el flujo de aire a través del
tubo 20 medido mediante un medidor de orificio 66 está
designado por el símbolo " F_4 " y se designará así en
la siguiente discusión.

30 La razón de flujo de oxígeno a través del
tubo 28 en el lugar "5" se determina por un orificio 68

1

5

10

15

20

25

30

en el tubo 28 y el medidor de orificio 70 conectado al mismo. El medidor 70 responde a la presión diferencial a través del orificio 68, así como también a la presión estática en el tubo 28 y correlaciona los valores medidos para generar una señal que es una función del flujo de oxígeno F_5 en el lugar "5". La señal así generada se transmite a la computadora 42.

Localizada sobre el reactor 10 existe una tolva de carga 72 soportada en las patas 74 y 76 que contiene los dispositivos de medición de carga 78 y 80 respectivamente. En la práctica se proveerán tres o más patas para asegurar la estabilidad. Los dispositivos de medición de carga 78 y 80 pueden ser, por ejemplo, calibradores de tensión que tienen resistencias que varían como una función de la carga llevada por las patas 74 y 76 y que se conectan a un dispositivo medidor de resistencia 82 que genera una señal que es una función del peso de la tolva 72 y sus contenidos y transmiten la señal a la computadora 42. La tolva 72 se carga con una cantidad apropiada de mineral para proporcionar una carga deseada en el reactor 10 y se transmite a la computadora 42 a una señal que representa el peso de la carga, después de lo cual la carga se introduce en el reactor 10 para el ciclo de reducción inicial. El contenido de oxígeno reducible inicial y la humedad del mineral son constantes con respecto a cualquier carga particular. Estos valores se miden y, como se indica en 84 y 86 en el dibujo, se introducen a la computadora los valores que indican las magnitudes del contenido de humedad y el contenido de

1

oxígeno reducible inicial del mineral.

5

10

15

20

25

30

Dentro de la computadora 42, las señales que representan el flujo y la composición del gas en el lugar "1", el flujo y la composición del gas en el lugar "3", el flujo de aire en el lugar "4" si se utiliza aire, el flujo de oxígeno en el lugar "5" si se utiliza oxígeno, el peso de mineral de hierro en la carga, el porcentaje inicial de oxígeno reducible en la carga y la humedad de la carga se correlacionan para generar una señal representativa del porcentaje de reducción del mineral, y esta señal se transmite a un registrador 88. El registro hecho de esta manera puede utilizarse por el operador como una base para determinar que tanto del porcentaje de reducción deseado del mineral se ha efectuado. Aunque las razones de flujos de gas y las composiciones en los lugares "1" a "5" pueden correlacionarse en diversas formas con el contenido de oxígeno reducible inicial del mineral, el peso del mineral cargado y la humedad del mineral para determinar el porcentaje de reducción, se describirá ahora un método preferido para correlacionar estas medidas.

En la siguiente discusión los símbolos enumerados a continuación tienen los significados indicados, expresándose el flujo de gas en moles. También el flujo de gas está en base seca excepto para el flujo de vapor de agua.

F_1 = flujo de gas total en el lugar "1"

F_{1H_2} = flujo de hidrógeno en el lugar "1"

F_{1CO} = flujo de monóxido de carbono en el lugar "1"

- 1 F_{1CO_2} = flujo de dióxido de carbono en el lugar "1"
- F_{1CH_4} = flujo de metano en el lugar "1"
- F_{1H_2O} = flujo de vapor de agua en el lugar "1"
- 5 F_{2CO} = flujo de monóxido de carbono en el lugar "2"
- F_{2CO_2} = flujo de dióxido de carbono en el lugar "2"
- F_{2H_2O} = flujo de vapor de agua en el lugar "2"
- F_3 = flujo total de gas en el lugar "3"
- F_{3H_2} = flujo de hidrógeno en el lugar "3"
- F_{3CO} = flujo de monóxido de carbono en el lugar "3"
- 10 F_{3CO_2} = flujo de dióxido de carbono en el lugar "3"
- F_{3CH_4} = flujo de metano en el lugar "3"
- F_{3H_2O} = flujo de vapor de agua en el lugar "3"
- F_w = flujo de agua separada en el enfriador 34, moles por unidad de tiempo
- 15 F_4 = flujo de aire a la cámara de combustión 12
- F_5 = flujo de oxígeno a la cámara de combustión 12
- R = por ciento de reducción del mineral.
- $(O_2)_i$ = contenido de oxígeno inicial del mineral (una constante) lbs-moles
- 20 $(O_2)_r$ = oxígeno separado del mineral (una variable) lbs.-moles
- M = toneladas métricas de mineral cargado al reactor
- 25 O_{2m} = por ciento en peso de oxígeno reducible en el mineral
- h_m = fracción en peso de humedad del mineral
- $F_{O_{2m}}$ = velocidad o flujo de separación de oxígeno del mineral
- 30 $O.21F_4$ = flujo de oxígeno en el aire alimentado a la cámara de combustión

1 θ = tiempo transcurrido desde el principio de la primera etapa de reducción.

5 La fórmula $F_{O_{2m}}$ que representa la velocidad en la cual se separa el oxígeno del mineral, puede deducirse como sigue:

 Mediante un balance de hidrógeno elemental (H_2) entre los lugares "1" y "3" se obtiene:

$$F_{1H_2} + 2F_{1CH_4} + F_{1H_2O} = F_{3H_2} + 2F_{3CH_4} + F_{3H_2O} + F_w \quad (1)$$

Despejando F_w da:

10
$$F_w = (F_{1H_2} - F_{3H_2}) + 2(F_{1CH_4} - F_{3CH_4}) + (F_{1H_2O} - F_{3H_2O}) \quad (2)$$

 Mediante un balance de oxígeno elemental

(O_2) entre los lugares "1" y "2" se obtiene:

15
$$\begin{aligned} 1/2 F_{1CO} + F_{1CO_2} + 1/2 F_{1H_2O} + 0.21 F_4 + F_5 + F_{O_{2m}} = \\ 1/2 F_{2CO} + F_{2CO_2} + 1/2 F_{2H_2O} \end{aligned} \quad (3)$$

Multiplicando por 2, da:

$$\begin{aligned} F_{1CO} + 2F_{1CO_2} + F_{1H_2O} + 0.42 F_4 + 2F_5 + 2F_{O_{2m}} = F_{2CO} \\ + 2F_{2CO_2} + F_{2H_2O} \end{aligned} \quad (4)$$

Despejando de la ecuación (4) $F_{O_{2m}}$ da:

20
$$\begin{aligned} F_{O_{2m}} = 1/2 \left[(F_{2CO} - F_{1CO}) + 2(F_{2CO_2} - F_{1CO_2}) + \right. \\ \left. F_{2H_2O} - F_{1H_2O} \right] - 0.42 F_4 - 2F_5 \quad (5) \end{aligned}$$

Mediante un balance de agua entre los lugares "2" y "3":

$$F_{2H_2O} = F_{3H_2O} + F_w \quad (6)$$

25 Sustituyendo la expresión de F_{2H_2O} de la ecuación (6), en la ecuación (5):

$$\begin{aligned} F_{O_{2m}} = 1/2 \left[(F_{2CO} - F_{1CO}) + 2(F_{2CO_2} - F_{1CO_2}) + (F_{3H_2O} + \right. \\ \left. F_w - F_{1H_2O}) - 0.42 F_4 - 2F_5 \right] \quad (7) \end{aligned}$$

30 Sustituyendo la expresión de F_w en la ecuación (2) a la ecuación (7) da:

1

$$F_{O_{2m}} = 1/2 \sum (F_{2CO} - F_{1CO}) + 2(F_{2CO_2} - F_{1CO_2}) + (F_{3H_2O} - F_{1H_2O}) + (F_{1H_2} - F_{3H_2}) + 2(F_{1CH_4} - F_{3CH_4}) + (F_{1H_2O} - F_{3H_2O}) - 0.42 F_4 - 2F_5 - 7 \quad (8)$$

5 Los términos F_{1H_2O} y F_{3H_2O} en la ecuación 8 pueden cancelarse para dar:

$$F_{O_{2m}} = 1/2 \sum (F_{1H_2} - F_{3H_2}) + 2(F_{1CH_4} - F_{3CH_4}) - (F_{1CO} - F_{2CO}) - 2(F_{1CO_2} - F_{2CO_2}) - 0.42 F_4 - 2F_5 - 7 \quad (9)$$

Es evidente que:

$$F_{2CO} = F_{3CO} \quad \text{y} \quad F_{2CO_2} = F_{3CO_2}$$

10 Por lo tanto, sustituyendo F_{3CO} por F_{2CO} y F_{3CO_2} por F_{2CO_2} pueden eliminarse todos los términos que contienen F_2 para dar:

$$F_{O_{2m}} = 1/2 \sum (F_{1H_2} - F_{3H_2}) + 2(F_{1CH_4} - F_{3CH_4}) - (F_{1CO} - F_{3CO}) - 2(F_{1CO_2} - F_{3CO_2}) - 0.42 F_4 - 2F_5 - 7 \quad (10)$$

15 la ecuación 10 es una expresión general que puede ser utilizada para determinar la velocidad de separación de oxígeno del mineral para cuatro formas diferentes de alimentación de gas que contiene oxígeno a la cámara de combustión, a saber, aire solo (F_5 es cero), oxígeno (F_4 es cero), una mezcla de aire y oxígeno, o ninguna adición de gas que contiene oxígeno (F_4 y F_5 son ambos cero).

20 Si se utiliza X para representar las fracciones molares de los componentes del gas de reducción, la ecuación (10) se transforma:

$$F_{O_{2m}} = 1/2 \sum F_1 (X_{1H_2} + 2X_{1CH_4} - X_{1CO} - 2X_{1CO_2}) - F_3 - (X_{3H_2} + 2X_{3CH_4} - X_{3CO} - 2X_{3CO_2}) - 0.42 F_4 - 2F_5 - 7 \quad (11)$$

25 Al considerar la ecuación (11) puede verse que $F_{O_{2m}}$ puede evaluarse empleando medidas hechas con el medidor de flujo y los cuatro analizadores de gas en el lugar "1",

30

1 el medidor de flujo y los cuatro analizadores de gases
 en el lugar "3" y los medidores de flujo en los lugares
 5 "4" y "5". Ya que los flujos de vapor de agua
 F_{1H_2O} y F_{3H_2O} se cancelaron, es innecesario hacer una
 determinación del vapor de agua generado en el reactor
 y expulsado con el agua de enfriamiento que deja el
 enfriador 34. Esto es una ventaja importante de la
 presente invención debido a la dificultad de medir el
 contenido de agua del gas en el lugar "2", según se
 10 puntualizó con anterioridad.

Ya que $F_{O_{2m}}$ es la velocidad de separación de
 oxígeno del mineral, la cantidad acumulativa de oxígeno
 no separado durante un período de tiempo $(O_2)r$ puede
 obtenerse integrando $F_{O_{2m}}$ con respecto al tiempo. Si
 15 la expresión dentro del paréntesis en la ecuación (11)
 se representa por A, entonces

$$(O_2)r = \int_0^{\theta} 1/2 A d \theta$$

20 La variable deseada para utilizarse para propósitos
 de control del proceso es el porcentaje de reducción R,
 el cual puede definirse como sigue:

$$R = \frac{(O_2)r}{(O_2)i} \times 100 \quad (13)$$

25 El oxígeno reducible inicial en el mineral
 $(O_2)i$ es una constante para cualquier carga dada y puede
 definirse como sigue:

$$(O_2)i = \left[\frac{M \times 2200}{32} \times \frac{O_{2m}}{100} \right] (1-h_m) \quad (14)$$

30 en donde:

1

M = toneladas métricas de mineral cargado

O_{2m} =por ciento en peso de oxígeno reduci-
ble en el mineral

5

h_m =fracción del peso de la humedad del mi-
neral

2200=lbs./tonelada métrica de mineral

32 =peso molecular de O_{2m} lbs/lb.mol

$$\text{De esta manera } (O_2)_i = 0,6875 M(O_{2m}) (1-h_m) \quad (15)$$

Sustituyendo (15) en (13) da:

10

$$R = \int \frac{145,45}{M(O_{2m})(1-h_m)} \cdot 7 \cdot (O_2)_r \quad (16)$$

Sustituyendo la ecuación (12) en la ecuación (16) da:

15

$$R = \frac{72,73}{M(O_{2m})(1-h_m)} \int_0^\theta A d\theta \quad (17)$$

20

La computadora 42 puede programarse para
combinar las señales recibidas de los medidores de
flujo y los analizadores de gas descritos anteriormen-
te, así como también las entradas que representan el
peso de la carga de mineral, el contenido de oxígeno

25

inicial y la fracción de humedad del mineral, de con-
formidad con la ecuación (17) para generar una señal
representativa del porcentaje de reducción R y esta
señal puede transmitirse al registrador 88 para pro-

30

porcionar una representación visual del porcentaje de
reducción. Además, será evidente para aquellos exper-
tos en la técnica, que si se desea una medida de la
velocidad instantánea de separación de oxígeno, ya sea
en lugar de, o además de la medida del porcentaje de
reducción, la computadora 42 puede programarse de con-

1

formidad con la ecuación (10) anterior para proporcionar una señal representativa de dicha velocidad de separación de oxígeno que se puede transmitir también al registrador 88.

5

En la mayoría de los casos puede lograrse una operación satisfactoria del sistema de reducción empleando aire atmosférico como el gas que contiene oxígeno. Bajo esta circunstancia los medidores 66 y 70 pueden omitirse y puede utilizarse una forma simplificada de la ecuación (17) como una base para programar la computadora 42.

10

Para los casos en donde $F_5 = \text{cero}$, la ecuación (10) se transforma:

15

$$F_{O_{2m}} = 1/2 \left[(F_{1H_2} - F_{3H_2}) + 2(F_{1CH_4} - F_{3CH_4}) - (F_{1CO} - F_{3CO}) - 2(F_{1CO_2} - F_{3CO_2}) - 0,42 F_4 \right] \quad (18)$$

Ya que el nitrógeno no entra en la reacción de reducción y el aire contiene 79% en volumen de nitrógeno, un balance de nitrógeno entre los lugares "1" y "3" da:

20

$$F_1 N_2 + 0,79 F_4 = F_3 N_2$$

Resolviendo para F_4 :

$$F_4 = \frac{1}{0,79} (F_3 N_2 - F_1 N_2) \quad (19)$$

Sustituyendo la ecuación (19) en la ecuación (18):

25

$$F_{O_{2m}} = 1/2 \left[(F_{1H_2} - F_{3H_2}) + 2(F_{1CH_4} - F_{3CH_4}) - (F_{1CO} - F_{3CO}) - 2(F_{1CO_2} - F_{3CO_2}) + \frac{42}{79} (F_1 N_2 - F_3 N_2) \right] \quad (20)$$

Si se utiliza X para representar la fracción molar de los componentes de gas de reducción, la ecuación (20) se transforma:

30

$$F_{O_{2m}} = 1/2 \left[F_1 (X_{1H_2} + 2X_{1CH_4} - X_{1CO} - 2X_{1CO_2} + \frac{42}{79} X_{1N_2}) - F_3 (X_{3H_2} + 2X_{3CH_4} - X_{3CO} - 2X_{3CO_2} + \frac{42}{79} X_{3N_2}) \right] \quad (21)$$

1

En base seca la fracción molar de nitrógeno puede expresarse como:

$$X_{N_2} = 1 - X_{H_2} - X_{CH_4} - X_{CO} - X_{CO_2}$$

5

Sustituyendo esta expresión para la fracción molar de nitrógeno de la ecuación (21)

$$F_{O_{2m}} = 1/2 \left\{ F_1 \left[X_{1H_2} + 2X_{1CH_4} - X_{1CO} - 2X_{1CO_2} + \frac{42}{79} (1 - X_{1H_2} - X_{1CH_4} - X_{1CO} - X_{1CO_2}) \right] - F_3 \left[X_{3H_2} + 2X_{3CH_4} - X_{3CO} - 2X_{3CO_2} + \frac{42}{79} (1 - X_{3H_2} - X_{3CH_4} - X_{3CO} - X_{3CO_2}) \right] \right\} \quad (22)$$

10

Puede verse al considerar la ecuación (22)

15

que $F_{O_{2m}}$ puede evaluarse utilizando mediciones hechas mediante el medidor de flujo y los cuatro analizadores en el lugar "1" y el medidor de flujo y los cuatro analizadores en el lugar "3". Los medidores de flujo 66 y 70 no se requieren.

Si la expresión dentro de los signos $\{ \}$ en la ecuación (22) se define como B:

$$F_{O_{2m}} = 1/2 B$$

20

Entonces por analogía con la ecuación (17)

el porcentaje de reducción R se transforma:

$$R = \frac{72,73}{M(O_{2m})(1-h_m)} \quad B \quad d \quad e \quad (23)$$

25

La computadora 42 puede programarse para combinar las señales recibidas de los medidores de flujo y los analizadores de gas, con las señales que representan el peso del mineral cargado, el contenido de oxígeno inicial de mineral, y la fracción de humedad del mineral, de conformidad con la ecuación (23)

30

1

para generar una señal representativa del porcentaje de reducción R. Esta señal se transmite al registrador 88 para proporcionar una lectura del porcentaje de reducción.

5

Según se indica casi al principio de la descripción, en los casos en donde las condiciones de operación son tales de que exista poca probabilidad de que ocurra carburización en el reactor de reducción,

10

puede suponerse que el contenido de carbono del gas de reducción no cambie durante su paso a través del reactor de reducción y pueda obtenerse una determinación exacta del porcentaje de reducción, sin medir el flujo de gas efluente del reactor utilizando una combinación de tres balances naturales, esto es, un balance de

15

carbono, así como también un balance de hidrógeno y de oxígeno.

El balance de carbono puede representarse como sigue:

20

$$F_{1CO} + F_{1CO_2} + F_{1CH_4} = F_{3CO} + F_{3CO_2} + F_{3CH_4} \quad (24)$$

Si X representa las fracciones molares de los componentes del gas, entonces:

$$F_1(X_{1CO} + X_{1CO_2} + X_{1CH_4}) = F_3(X_{3CO} + X_{3CO_2} + X_{3CH_4}) \quad (25)$$

Resolviendo para F_3 :

25

$$F_3 = F_1 \left(\frac{X_{1CO} + X_{1CO_2} + X_{1CH_4}}{X_{3CO} + X_{3CO_2} + X_{3CH_4}} \right) \quad (26)$$

Sustituyendo este valor de F_3 en la ecuación

(22) da:

30

$$F_{O_{2m}} = 1/2 \left\{ F_1(X_{1H_2} + 2X_{1CH_4} - X_{1CO} - 2X_{1CO_2} + \frac{42}{79} (1 - X_{1H_2} - X_{1CH_4} - X_{1CO} - X_{1CO_2})) - 7 - \right.$$

1

$$F_1 \left(\frac{X_{1CO} + X_{1CO_2} + X_{1CH_4}}{X_{3CO} + X_{3CO_2} + X_{3CH_4}} \right) \left[-X_{3H_2} + 2X_{3CH_4} - X_{3CO} - 2X_{3CO_2} + \frac{42}{79} (1 - X_{3H_2} - X_{3CO} - X_{3CH_4} - X_{3CO_2}) \right] \quad (27)$$

Si la expresión dentro de los paréntesis { }

5

en la ecuación 27 se define como C:

$$F_{O_{2m}} = 1/2 C$$

Entonces por analogía a las ecuaciones (17)

y (23) el porcentaje de reducción R se hace:

10

$$R = \frac{72,73}{M(O_{2m})(1-h_m)} \quad \left. \begin{matrix} \theta \\ \circ \end{matrix} \right\} C d \theta \quad (28)$$

15

Como en el caso de las ecuaciones (17) y (23), la computadora puede programarse para generar una señal representativa del porcentaje de reducción R, como se define en la ecuación (28), utilizando las composiciones de gas, tanto de entrada como efluente, pero únicamente los valores de flujo de gas de entrada. Utilizando una modalidad de la presente invención, incorporando la relación de la ecuación (28), se eliminan cualesquiera errores que pudieran surgir como un incidente de la medida del flujo de gas efluente y, de esta manera, esta propuesta es la preferida en aquellos casos en donde puede ser utilizado.

25

Como será evidente para aquellos expertos en la técnica, el método y el aparato descritos anteriormente pueden utilizarse para medir el porcentaje de reducción de una carga de mineral a medida que avanza a través de una pluralidad de etapas de reducción. El porcentaje de reducción que ha ocurri-

30

1

do en el reactor se revisa continuamente de manera que el operador de la planta puede detectar fácilmente las desviaciones del patrón de reducción deseado y tomar la acción correctora necesaria. Ya que se proporciona un registro continuo del grado de reducción, el operador a medida que se aproxima el fin de un ciclo, puede estimar si se alcanzará el grado deseado de metalización en un intervalo de tiempo normal y si no, disminuir o alargar apropiadamente el ciclo de reducción.

5

10

Puede notarse que en un sistema del tipo descrito anteriormente, una cierta cantidad de reducción tiene lugar en el reactor de enfriamiento. Esta reducción en el reactor de enfriamiento usualmente no puede estar directamente regulada por el operador. Sin embargo, se ha encontrado que si el grado de reducción de cada carga es el mismo al principio del ciclo de enfriamiento, será esencialmente el mismo el grado de reducción de cada carga al final del ciclo de enfriamiento. De esta manera, revisando el porcentaje de reducción del mineral, de conformidad con el método presente, desde el principio al final de las operaciones de reducción se suministra suficiente información al operador para permitirle controlar así la operación del sistema, a manera de elaborar un producto sustancialmente uniforme.

15

20

25

30

El método y el aparato de la invención son especialmente útiles en los casos en donde se desea un producto de una metalización relativamente baja. El producto de hierro esponja se utiliza ordinariamente

1

5

10

15

20

25

30

como parte o la totalidad de la carga para un horno de arco eléctrico para la fabricación de acero. Se ha encontrado que en algunos casos pueden obtenerse economías en el procedimiento para la fabricación global de acero, llevando a cabo una proporción considerable de la reducción en el horno para fabricar acero. Para lograr estas ventajas, el sistema de reducción se opera a manera de producir un hierro esponja relativamente muy carburizado de una metalización de digamos 75% a 85%. La carburización del hierro esponja puede efectuarse mediante depositación de carbón dentro de las partículas de hierro esponja en el reactor de enfriamiento.

Un problema encontrado en esta forma de operación es que cuando se opera un sistema de carga de 4 reactores convencional, para dar origen a un producto que tiene un grado bajo de metalización, el producto tiende a variar sustancialmente de carga en carga. Mediante el empleo del método y el aparato de la presente, puede elaborarse un producto mucho más uniforme de carga a carga, aún a una metalización de digamos 75% a 85%.

Por supuesto, se sobreentiende que la descripción anterior es únicamente ilustrativa. Será evidente para aquellos expertos en la técnica que pueden hacerse numerosos cambios en la modalidad ilustrativa descrita sin apartarse del espíritu de la invención, según se define en las cláusulas anexas.

En resumen, la Patente de Invención que se solicita recaerá sobre las siguientes

REIVINDICACIONES

1

5

10

15

20

1.- Un método para determinar la velocidad de separación de oxígeno de un mineral de metal oxídico, o el porcentaje de reducción de dicho mineral metalífero en un reactor de reducción de un sistema de reducción gaseosa del tipo en el cual se tratan simultáneamente cuerpos fijos, separados, de material metalífero, en una pluralidad de reactores para producir metal esponja, siendo dicho sistema del tipo en el cual se calienta un gas reductor se hace pasar a través de un lecho de material metalífero en el citado reactor de reducción y después se enfría para separar agua del mismo, caracterizándose dicho método por medir la composición y el flujo de dicho gas al mencionado reactor de reducción antes de que se caliente, medir la composición del gas efluente de dicho reactor después de que se enfría y se deshidrata y correlacionar dichas composiciones de gas y dicho flujo de gas para obtener una señal indicadora del regimen de separación de oxígeno del lecho de material metalífero en dicho reactor de reducción.

25

2.- Un método de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que la señal se convierte a una representación visual de la velocidad de separación de oxígeno.

30

3.- Un método de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que el flujo de gas efluente de dicho reactor se mide después de que se enfría y se deshidrata y tanto dichas composiciones de gas como los citados flujos de gas se co-

1

rrelacionan para obtener una señal indicadora de la velocidad de separación de oxígeno de dicho lecho.

5

4.- Un método de conformidad con la reivindicación 1 ó 3, caracterizado por el hecho de que dichas composiciones de gas y dicho flujo o flujos de gas, se correlacionan con la cantidad de oxígeno inicialmente presente en el citado lecho de material metalífero para obtener una señal indicadora del porcentaje de reducción de dicho mineral.

10

5.- Un método de conformidad con la reivindicación 4, caracterizado por el hecho de que dichas composiciones de gas y dicho flujo o flujos de gas, se correlacionan para obtener un valor que indica la velocidad de separación de oxígeno de dicho lecho, la velocidad de separación se integra con respecto al tiempo para obtener la cantidad acumulativa de oxígeno separado de dicho lecho, y dicha cantidad acumulativa de oxígeno separado se correlaciona con la cantidad total de oxígeno reducible inicialmente presente en el citado mineral para obtener dicha señal.

15

20

6.- Un método de conformidad con la reivindicación 4, caracterizado por el hecho de que dicha señal se convierte a una representación visual del porcentaje de reducción de dicho mineral.

25

7.- Un método de conformidad con la reivindicación 1 ó 2, caracterizado por el hecho de que el gas comprende monóxido de carbono, hidrógeno, metano y dióxido de carbono y las composiciones de gas y el flujo de gas se correlacionan de conformidad con la siguiente ecuación:

30

1

$$F_{O_{2m}} = \left\{ F_1 \left[X_{1H_2} + 2X_{1CH_4} - X_{1CO} - 2X_{1CO_2} + \frac{42}{79} (1 - X_{1H_2} - X_{1CH_4} - X_{1CO} - X_{1CO_2}) \right] \right.$$

5

$$F_1 \left(\frac{X_{1CO} + X_{1CO_2} + X_{1CH_4}}{X_{3CO} + X_{3CO_2} + X_{3CH_4}} \right) \left[X_{3H_2} + 2X_{3CH_4} - X_{3CO} - 2X_{3CO_2} + \frac{42}{79} (1 - X_{3H_2} - X_{3CO} - X_{3CH_4} - X_{3CO_2}) \right]$$

en donde:

10

$F_{O_{2m}}$ = velocidad de separación de oxígeno del mineral,

F_1 = flujo total de gas en dicho primer lugar,

X_{1H_2} = fracción molar de hidrógeno en dicho primer lugar,

X_{1CH_4} = fracción molar de metano en dicho primer lugar,

15

X_{1CO} = fracción molar de monóxido de carbono en dicho primer lugar,

X_{1CO_2} = fracción molar de dióxido de carbono en dicho primer lugar,

X_{3CO} = fracción molar de monóxido de carbono en dicho segundo lugar,

20

X_{3CO_2} = fracción molar de dióxido de carbono en dicho segundo lugar,

X_{3CH_4} = fracción molar de metano en dicho segundo lugar,

25

X_{3H_2} = fracción molar de hidrógeno en dicho segundo lugar.

8.- Un método de conformidad con la reivindicación 5, caracterizado por el hecho de que el gas reductor comprende monóxido de carbono, hidrógeno, metano y dióxido de carbono, dicho gas reductor antes de que entre al reactor mencionado, se mezcla con una

30

1

5

10

15

20

25

30

cantidad menor de un gas que contiene oxígeno, seleccionado de aire, oxígeno elemental y mezclas de los mismos, en una cámara de combustión, se mide el flujo de gas que contiene oxígeno y dichos flujos y composiciones de gas se correlacionan de conformidad con la siguiente ecuación, para obtener dicha señal indicadora del porcentaje de reducción de dicho mineral:

$$R = \frac{72,73}{M(O_{2m})(1-h_m)} \quad A \quad d \quad \theta$$

en donde:

$$A = \sqrt{F_1 (X_{1H_2} + 2X_{1CH_4} - X_{1CO} - 2X_{1CO_2}) - F_3 (X_{3H_2} + 2X_{3CH_4} - X_{3CO} - 2X_{3CO_2}) - 0,42 F_4 - 2F_5} \quad 7$$

R = porcentaje de reducción,

M = toneladas métricas de mineral cargado al reactor,

O_{2m} = porcentaje de oxígeno reducible en el mineral,

h_m = fracción de humedad en el mineral,

F₁ = flujo total de gas en el primer lugar

X_{1H₂} = fracción molar de hidrógeno en dicho primer lugar,

X_{1CH₄} = fracción molar de metano en dicho primer lugar,

X_{1CO} = fracción molar de monóxido de carbono en dicho primer lugar,

X_{1CO₂} = fracción molar de dióxido de carbono en dicho primer lugar,

F₃ = flujo total de gas en dicho segundo lugar,

X_{3H₂} = fracción molar de hidrógeno en dicho segundo

1

lugar,

X_{3CH_4} = fracción molar de metano en dicho segundo lugar,

5

X_{3CO} = fracción molar de monóxido de carbono en dicho segundo lugar,

X_{3CO_2} = fracción molar de dióxido de carbono en dicho segundo lugar,

F_4 = flujo de aire a la cámara de combustión,

F_5 = flujo de oxígeno a la cámara de combustión,

10

θ = tiempo.

15

9.- Un método de conformidad con la reivindicación 5, caracterizado por el hecho de que el gas reductor comprende monóxido de carbono, metano, hidrógeno y dióxido de carbono, dicho gas reductor antes de que entre al citado reactor se mezcla con una cantidad menor de aire en una cámara de combustión, el flujo de dicho aire se mide y dichos flujos y composiciones de gas se correlacionan de conformidad con la siguiente ecuación para obtener dicha señal indicadora del porcentaje de reducción de dicho mineral:

20

$$R = \frac{72,73}{M(O_{2m})(1-h_m)} \quad \left. \begin{array}{l} \theta \\ \circ \end{array} \right\} \quad B \text{ d } \theta$$

25

en donde:

$$B = F_1 \left[X_{1H_2} + 2X_{1CH_4} - X_{1CO} - 2X_{1CO_2} + \frac{42}{79} (1 - X_{1H_2} - X_{1CH_4} - X_{1CO} - X_{1CO_2}) \right] - 7 -$$

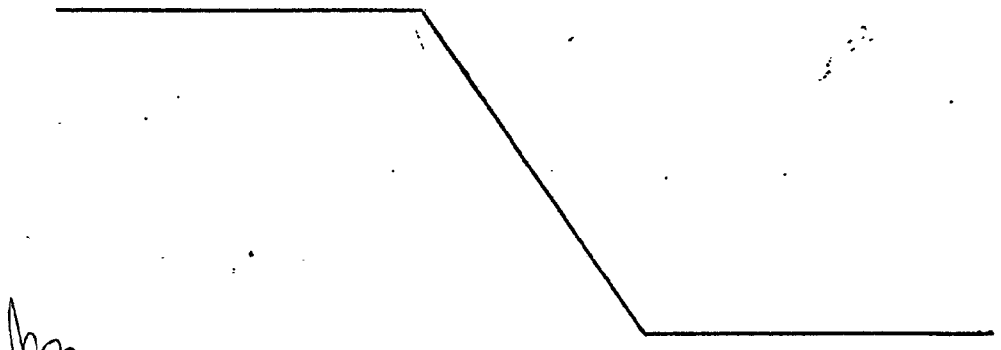
$$F_3 \left[X_{3H_2} + 2X_{3CH_4} - X_{3CO} - 2X_{3CO_2} + \frac{42}{79} (1 - X_{3H_2} - X_{3CH_4} - X_{3CO} - X_{3CO_2}) \right] - 7$$

30

- 1 R = porcentaje de reducción,
M = toneladas métricas de mineral cargado al reactor,
- 5 O_{2m} = porcentaje de oxígeno reducible en el mineral,
 h_m = fracción de humedad del mineral,
 F_1 = flujo total del gas en dicho primer lugar,
 X_{1H_2} = fracción molar de hidrógeno en dicho primer lugar,
- 10 X_{1CH_4} = fracción molar de metano en dicho primer lugar,
 X_{1CO} = fracción molar de monóxido de carbono en dicho primer lugar,
 X_{1CO_2} = fracción molar de dióxido de carbono en dicho primer lugar,
- 15 F_3 = flujo total de gas en dicho segundo lugar
 X_{3H_2} = fracción molar de hidrógeno en dicho segundo lugar,
 X_{3CH_4} = fracción molar de metano en dicho segundo lugar
- 20 X_{3CO} = fracción molar de monóxido de carbono en dicho segundo lugar,
 X_{3CO_2} = fracción molar de dióxido de carbono en el mencionado segundo lugar,
- 25 θ = tiempo.

25

30



[Handwritten signature]

1

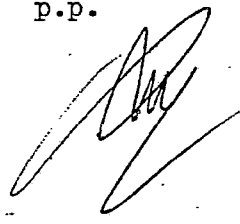
10.- Se reivindica por último como objeto sobre el que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita: UN METODO PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DE SEPARACION DE OXIGENO DE UN MINERAL DE METAL OXIDICO.

5

Todo conforme queda descrito y reivindicado en la presente Memoria descriptiva que consta de treinta y cuatro páginas mecanografiadas y dibujos adjuntos.

Madrid, 15 de Marzo de 1977
BERNARDO UNGRIA
P.P.

10



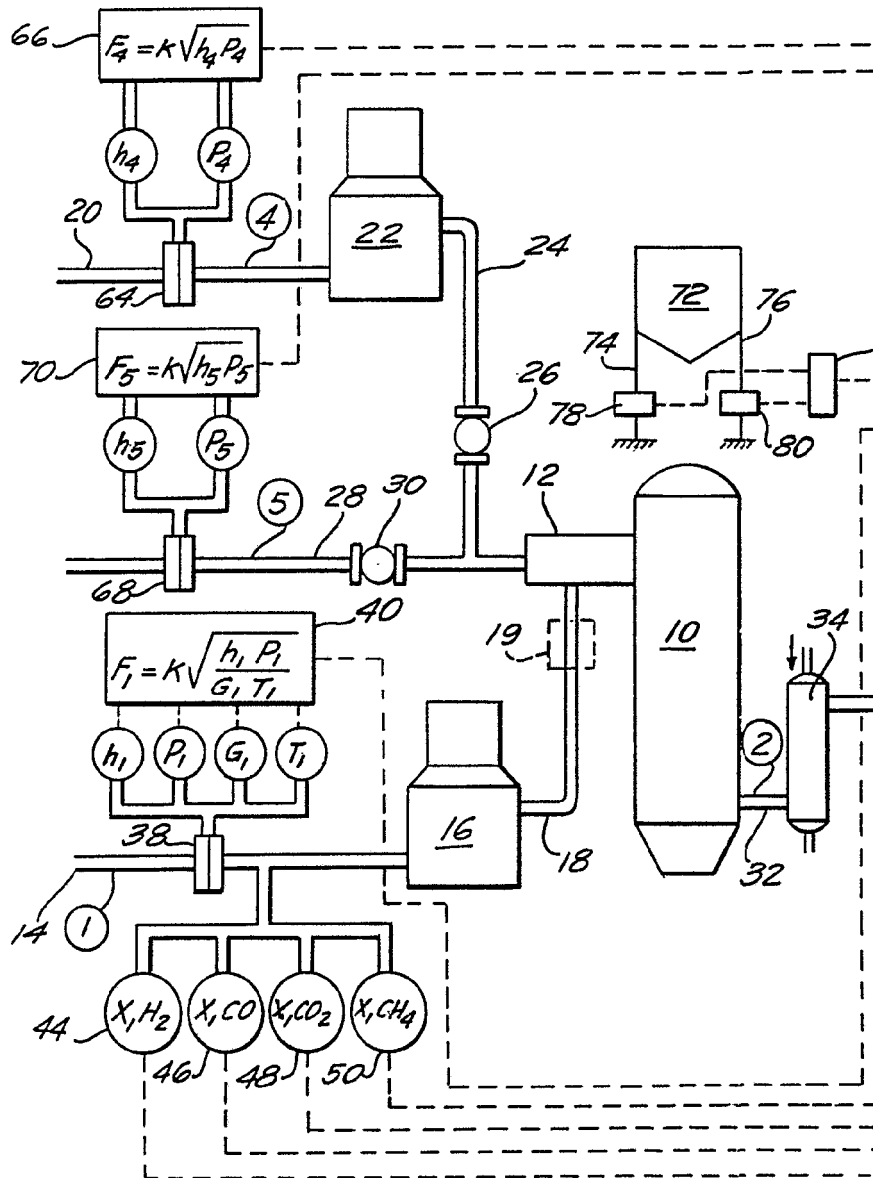
15

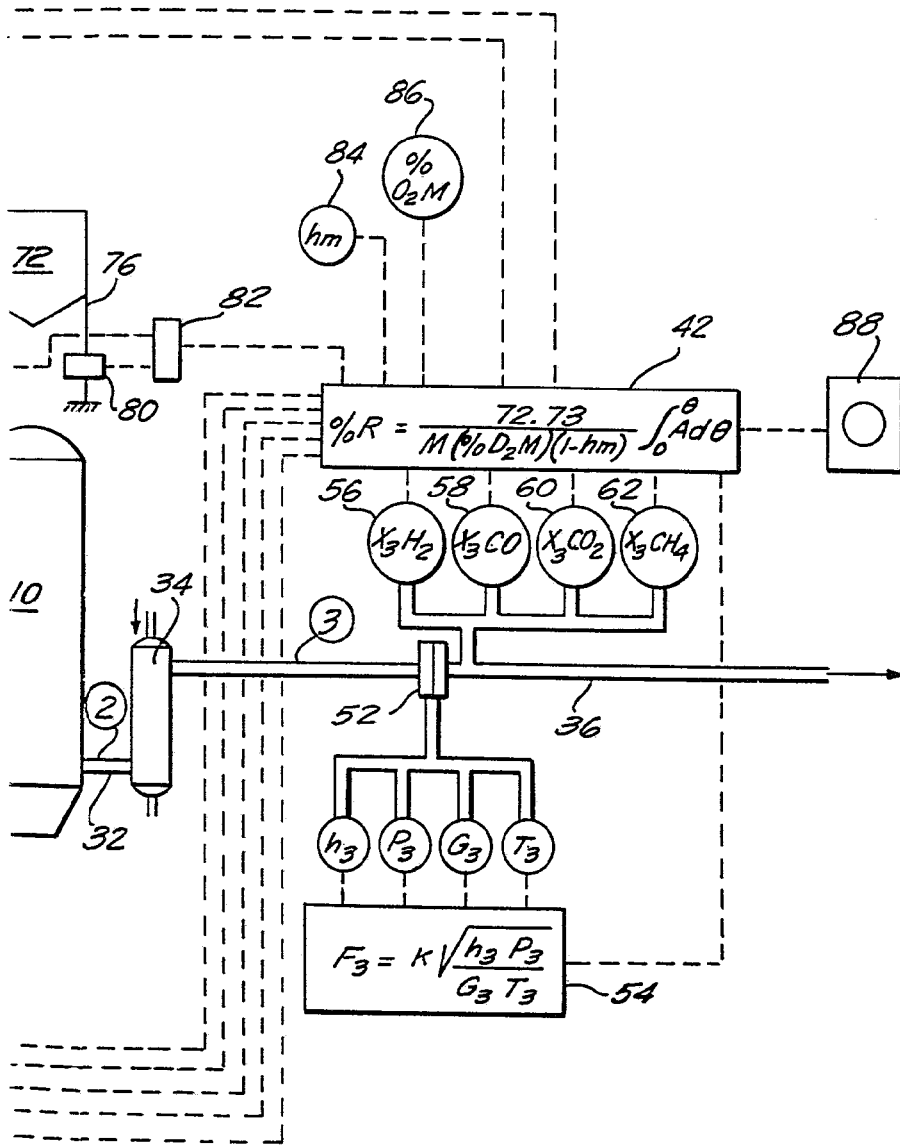
20

25

30







ESCALA VARIABLE
 Madrid, 15 marzo 1977
 BERNARDO JENGERIA

D.P.