



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 338 341**

51 Int. Cl.:
C22B 5/14 (2006.01)
C21B 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05746507 .2**
96 Fecha de presentación : **20.05.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1756324**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **28.02.2007**

54 Título: **Procedimiento de reducción directa usando un solo lecho fluidizado.**

30 Prioridad: **31.05.2004 AU 2004902900**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
06.05.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
06.05.2010

73 Titular/es: **Outotec Oyj**
Riihitontuntie 7
02200 Espoo, FI

72 Inventor/es: **Orth, Andreas;**
Eichberger, Heinz;
Philp, Donald, Keith y
Dry, Rod

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 338 341 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

ES 2 338 341 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de reducción directa usando un solo lecho fluidizado.

5 La presente invención versa acerca de un procedimiento de reducción directa para un material metalífero de alimentación, particularmente, aunque no exclusivamente en modo alguno, acerca de un procedimiento de reducción directa para un material de alimentación que contiene hierro, tal como mineral de hierro.

10 La presente invención también versa sobre un procedimiento para reducir un material metalífero de alimentación que comprende un procedimiento de reducción directa para reducir parcialmente material metalífero de alimentación en estado sólido y un procedimiento de fundición para fundir y reducir adicionalmente el material metalífero de alimentación parcialmente reducido a un metal fundido.

15 La presente invención se realizó durante el transcurso de un proyecto de investigación en curso llevado a cabo por el solicitante para desarrollar la llamada “tecnología CIRCOFER” para la reducción directa de mineral de hierro, tal como se describe, por ejemplo, en el documento EP 1 753 883 B1.

20 La tecnología CIRCOFER es un procedimiento de reducción directa que es capaz de reducir mineral de hierro en estado sólido a una metalización del 50% o superior.

25 La tecnología CIRCOFER se basa en el uso de lechos fluidizados. Los principales materiales suministrados a los lechos fluidizados son gas fluidizante, óxidos metálicos (típicamente finos de mineral de hierro), material carbonáceo sólido (típicamente carbón) y gas que contiene oxígeno (típicamente gas oxígeno). El principal producto producido en los lechos fluidizados es óxidos metálicos metalizados, es decir, óxidos metálicos que han sido reducidos al menos parcialmente.

30 Uno de los hallazgos del solicitante en el proyecto de investigación es que resulta posible establecer zonas de reacción separadas dentro de un único lecho fluidizado y de optimizar las reacciones en estas zonas. Una zona de reacción es una zona rica en carbono en la que se oxidan el material carbonáceo sólido, como el carbón, y otros reactivos oxidables y se genera calor. La otra zona de reacción es una zona rica en metal, en la que el material metalífero de alimentación, como el mineral de hierro, es reducido en estado sólido. Las dos zonas de reacción están separadas dentro del lecho fluidizado, estando típicamente la zona rica en metales en una sección inferior, y estando la zona rica en carbono por encima de la zona rica en metales. Las zonas pueden ser contiguas. El lecho fluidizado comprende flujos ascendentes y descendentes de sólidos y este movimiento del material facilita la transferencia del calor generado en la zona rica en carbono a la zona rica en metales y mantiene la zona rica en metales a una temperatura requerida para reducir al material metalífero de alimentación.

35 El documento JP 10 280021 describe un aparato de reducción fluidizado circulante que está compuesto por un lecho fluidizado para reducir mientras se fluidiza óxido en polvo, separadores de gases para recuperar el material en polvo del gas descargado del lecho fluidizado, y un lecho de desplazamiento para descargar en el lecho fluidizado y hacer circular el material en polvo recuperado con los separadores de sólidos y de gases. El gas que contiene oxígeno es inyectado en la superficie lateral del lecho fluidizado y se coloca encima un suministro del material de alimentación.

40 Conforme a la presente invención se proporciona un procedimiento de reducción directa para un material metalífero que comprende las características de la reivindicación 1.

45 Preferentemente, el procedimiento comprende inyectar el gas que contiene oxígeno con un flujo descendente en un abanico de más o menos quince grados con respecto a la vertical.

50 En el presente documento, la expresión “zona rica en carbono” se entiende que significa una zona del lecho fluidizado en la que hay una cantidad relativamente grande de material que contiene carbono en relación con la cantidad de material metalífero que en otras zonas del lecho fluidizado.

55 En el presente documento, la expresión “zona rica en metales” se entiende que significa una zona en el lecho fluidizado en la que hay una cantidad relativamente grande de material metalífero en relación con la cantidad de material que contiene carbono que en otras zonas del lecho fluidizado.

60 Preferentemente, el procedimiento comprende formar la zona rica en metales en una sección inferior de la vasija y la zona rica en carbono en una sección intermedia del reactor.

65 Preferentemente, la sección intermedia es intermedia entre dicha sección inferior y una sección superior de la vasija.

Preferentemente, el procedimiento comprende inyectar el gas que contiene oxígeno en una zona central de la vasija, es decir, una zona que está ubicada hacia el interior de una pared lateral de la vasija.

ES 2 338 341 T3

Preferentemente, el procedimiento comprende controlar la diferencia de temperatura entre la temperatura global en el lecho fluidizado y la temperatura media de la superficie que da al interior de una pared lateral de la vasija para que no supere los 100°C.

5 En el presente documento, la expresión “temperatura global” se entiende que significa la temperatura media de todo el lecho fluidizado.

Más preferentemente, la diferencia de temperatura no supera los 50°C.

10 En el caso de reducción de material metalífero en forma de finos de mineral de hierro, la temperatura global del lecho fluidizado está preferentemente en el intervalo de 850°C a 1000°C.

Preferentemente, la temperatura global en el lecho fluidizado es al menos 900°C, más preferentemente al menos 950°C.

15 Además, preferentemente, el procedimiento comprende controlar la variación de temperatura para que sea de menos de 50°C dentro del lecho fluidizado.

20 La diferencia de temperatura puede ser controlada mediante el control de varios factores que incluyen, a título de ejemplo, la cantidad de los sólidos y los gases suministrados a la vasija.

Además, en el caso de reducir material metalífero en forma de finos de mineral de hierro, el procedimiento comprende, preferentemente, controlar la presión en la vasija para que esté en el intervalo de 100-1000 kPa absolutos y preferentemente 400-800 kPa absolutos.

25 Preferentemente, el procedimiento comprende inyectar el gas que contiene oxígeno para que haya un flujo descendente de gas en la vasija.

30 Preferentemente, el procedimiento comprende inyectar el gas que contiene oxígeno por medio de al menos una lanza que tiene una punta de lanza con una salida colocada en la vasija hacia el interior de de la pared lateral de la vasija en la zona central de la vasija.

Preferentemente, la punta de la lanza está dirigida hacia abajo.

35 Más preferentemente, la punta de la lanza está dirigida verticalmente hacia abajo.

La posición de la lanza y, más particularmente, la altura de la salida de la punta de la lanza están determinadas por referencia a factores tales como la velocidad de inyección del gas que contiene oxígeno, la presión de la vasija, la selección y las cantidades de los otros materiales suministrados a la vasija, y la densidad del lecho fluidizado.

40 Preferentemente, el procedimiento comprende enfriar con agua al menos la punta de la lanza para minimizar la posibilidad de que se formen acumulaciones en la punta de la lanza que pudieran bloquear la inyección del gas que contiene oxígeno.

45 Preferentemente, el procedimiento comprende enfriar con agua al menos al menos una superficie exterior de la lanza. Preferentemente, el procedimiento comprende inyectar el gas que contiene oxígeno a través de una tubería central de la lanza.

50 Preferentemente, el procedimiento comprende inyectar el gas que contiene oxígeno con suficiente velocidad para formar una zona sustancialmente libre de sólidos en la zona de la punta de la lanza para minimizar la formación de acumulaciones en la punta de la lanza que pudieran bloquear la inyección del gas que contiene oxígeno.

55 Preferentemente, el procedimiento comprende inyectar nitrógeno y/o vapor y/u otro gas envolvente adecuado y rodear la zona de la salida de la punta de la lanza para minimizar la oxidación del metal que pudiera resultar en la formación de acumulaciones en la punta de la lanza que pudieran bloquear la inyección del gas que contiene oxígeno.

60 Preferentemente, el procedimiento comprende inyectar el gas envolvente en la vasija a una velocidad que es al menos el 60% de la velocidad del gas que contiene oxígeno.

65 Preferentemente, el procedimiento comprende suministrar al lecho fluidizado el mineral metalífero de alimentación, el material carbonáceo, el gas que contiene oxígeno y el gas fluidizante y mantener el lecho fluidizado con (a) un flujo descendente del gas que contiene oxígeno, (b) un flujo ascendente de sólidos y de gas fluidizante a contracorriente del flujo descendente del gas que contiene oxígeno, y (c) un flujo descendente de sólidos hacia el exterior del flujo ascendente de sólidos y de gas fluidizante.

En el lecho fluidizado descrito en el párrafo precedente, los sólidos de los flujos ascendente y descendente de sólidos se calientan por el calor generado por las reacciones entre el gas que contiene oxígeno, al material carbonáceo

ES 2 338 341 T3

sólido y otros materiales oxidables (tales como CO, volátiles y H₂) en la zona rica en carbono. Los sólidos del flujo descendente de sólidos transfieren calor a la zona rica en metales.

5 Además, los flujos ascendente y descendente de sólidos protegen a la pared lateral de la vasija del calor radiante generado por las reacciones entre el gas que contiene oxígeno y el material carbonáceo sólido y otros sólidos y gases oxidables en el lecho fluidizado.

10 En el caso de reducir material metalífero en forma de finos de mineral de hierro, los finos tienen, preferentemente, un tamaño de menos de 6 mm.

Preferentemente, los finos tienen un tamaño medio de partícula en el intervalo de 0,1 a 0,8 mm.

15 Una de las ventajas del procedimiento es que puede aceptar una cantidad sustancial de material metalífero de alimentación con un tamaño de partícula de menos de 100 micrómetros sin que una cantidad significativa de este material salga del procedimiento arrastrada en la descarga gaseosa. Se cree que esto se debe a un mecanismo de aglomeración que opera dentro del lecho fluidizado que promueve un nivel deseado de aglomeración entre las partículas de los materiales de alimentación, particularmente partículas de menos de 100 micrómetros, sin que parezca que se promueve una aglomeración incontrolada capaz de interrumpir el funcionamiento del lecho fluidizado. De modo similar, los minerales friables, que tienen una tendencia a desmenuzarse durante su tratamiento y, por lo tanto, a aumentar la proporción de partículas en el lecho fluidizado con un tamaño menor de 100 micrómetros, pueden tratarse sin pérdida significativa de material de alimentación en la descarga gaseosa del procedimiento.

20 Preferentemente, el material carbonáceo es carbón. En tal situación, el procedimiento desvolatiliza el carbón a coque de calidad inferior y al menos parte del coque reacciona con el oxígeno y forma CO en el lecho fluidizado.

25 Preferentemente, el gas fluidizante comprende un gas reductor, tal como CO y H₂.

30 Preferentemente, el procedimiento comprende seleccionar la cantidad de H₂ en el gas fluidizante para que sea al menos el 15% en volumen del volumen total de CO y H₂ en el gas.

Preferentemente, el procedimiento comprende descargar la corriente de producto que comprende material metalífero al menos parcialmente reducido desde la sección inferior de la vasija.

35 Preferentemente, la corriente de producto también comprende otros sólidos (por ejemplo, coque).

Preferentemente, el procedimiento comprende separar al menos una porción de los otros sólidos de la corriente de producto.

40 Preferentemente, el procedimiento comprende devolver a la vasija los sólidos separados.

Preferentemente, el procedimiento comprende descargar una corriente de descarga gaseosa que contiene sólidos arrastrados procedentes de una sección superior de la vasija.

45 Preferentemente, el procedimiento comprende separar sólidos de la corriente de descarga gaseosa.

Preferentemente, el procedimiento comprende mantener un lecho fluidizado circulante, separando los sólidos arrastrados de la corriente de descarga gaseosa y devolviendo a la vasija los sólidos separados de la descarga gaseosa.

50 Preferentemente, el procedimiento comprende devolver los sólidos separados de la descarga gaseosa a la porción inferior de la vasija.

Preferentemente, el procedimiento comprende precalentar el material metalífero de alimentación con la descarga gaseosa de la vasija.

55 Preferentemente, el procedimiento comprende tratar la descarga gaseosa después de la etapa de precalentamiento y devolver a la vasija al menos una porción de la descarga gaseosa tratada como gas fluidizante.

60 Preferentemente, el tratamiento de la descarga gaseosa comprende uno o más de (a) eliminación de sólidos, (b) enfriamiento, (c) eliminación de H₂O, (d) eliminación de CO₂, (e) compresión y (f) recalentamiento.

Preferentemente, el tratamiento de la descarga gaseosa comprende devolver los sólidos a la vasija.

65 El procedimiento puede ser puesto en operación para producir una corriente de producto que oscila entre una metalización baja y una elevada, dependiendo de los requisitos corriente abajo para el material metalífero al menos parcialmente reducido. La metalización puede oscilar entre el 30 hasta más del 80%. En situaciones en las que se requiere una metalización mayor del 50%, el procedimiento comprende preferentemente operar con un gas reductor en el gas fluidizante. Una opción para el gas fluidizante en este caso es la descarga gaseosa tratada procedente de la vasija. En situaciones en las que se requiera una metalización inferior al 50%, se contempla que no será necesario

ES 2 338 341 T3

operar con gas reductor en el gas fluidizante, y puede obtenerse suficiente agente reductor por medio del material carbonáceo sólido suministrado al procedimiento.

El gas que contiene oxígeno puede ser cualquier gas adecuado.

Preferentemente, el gas que contiene oxígeno comprende al menos un 90% de oxígeno en volumen.

Conforme a la presente invención, también se proporciona un procedimiento para reducir un material metalífero que comprende (a) un procedimiento de reducción directa para reducir parcialmente material metalífero en estado sólido tal como se describe en el presente documento y (b) un procedimiento de fundición para fundir y reducir adicionalmente el material metalífero parcialmente reducido a un metal fundido.

La presente invención se describe adicionalmente con referencia a los dibujos adjuntos, de los cuales:

la Figura 1 es un diagrama de un aparato para la reducción directa de un material metalífero mediante una realización de un procedimiento conforme a la presente invención que ilustra las zonas de reacción formadas por el procedimiento dentro de la vasija mostrada en la Figura; y

la Figura 2 es el mismo diagrama básico mostrado en la Figura 1 que ilustra el movimiento de los sólidos y los gases causado por el procedimiento en la vasija.

La siguiente descripción está en el contexto de la reducción directa de un material metalífero en forma de partículas de mineral de hierro en estado sólido. La presente invención no está limitada en ese sentido y se extiende a la reducción directa de otros materiales que no contienen hierro (como la ilmenita) y, más genéricamente, a otros materiales metalíferos.

La siguiente descripción también está en el contexto de la reducción directa de mineral de hierro con carbón como material carbonáceo sólido, oxígeno como gas que contiene oxígeno y una mezcla de al menos CO y H₂ como gas fluidizante. La presente invención no está limitada en ese sentido y se extiende al uso de cualquier otro material carbonáceo adecuado, de cualquier otro gas que contenga oxígeno y de cualquier otro gas fluidizante.

Con referencia a las Figuras, los materiales sólidos de alimentación, es decir, los finos de mineral de hierro y el carbón, el oxígeno y el gas fluidizante, son suministrados a la vasija 3 mostrada en las Figuras y establecen un lecho fluidizado en la vasija.

Los materiales sólidos de alimentación son suministrados a la vasija por medio de un dispositivo de distribución de sólidos, como un avance por tornillo o una lanza 5 de inyección de sólidos que atraviesa una pared lateral 7 de la vasija.

El oxígeno es inyectado en la vasija por medio de una lanza 9 que tiene una salida situada dentro de una punta 11 de la lanza, que se extiende hacia abajo y que dirige el oxígeno hacia abajo en una región central 31 (Figura 2) de la vasija. La región central se extiende radialmente desde un eje central de la vasija hacia la pared de la vasija. El oxígeno es inyectado para que tenga un flujo descendente dirigido en el abanico entre la vertical y cuarenta grados con respecto a la vertical, pero está, preferentemente, dentro del abanico de la vertical a quince grados con respecto a la vertical. Los sólidos dentro de la zona de la salida de la lanza pueden llegar a ser arrastrados en el flujo de oxígeno. Se cree que la interacción entre el flujo del oxígeno, sustancialmente descendente, y el flujo del gas fluidizante, sustancialmente ascendente, reduce significativamente la tendencia de las partículas a ser arrastradas en el flujo de oxígeno para entrar en contacto con las paredes laterales de la vasija y formar acumulaciones.

El gas fluidizante es inyectado por medio de una serie de toberas o boquillas (no mostradas) en una base 13 de la vasija.

El suministro anteriormente descrito de sólidos y gases produce un flujo ascendente de gas fluidizante y de sólidos arrastrados en la región central de la vasija. De forma creciente, conforme se mueven los sólidos hacia arriba, los sólidos se desprenden de la corriente ascendente de gas fluidizante y fluyen hacia abajo en una zona anular entre la región central y la pared lateral de la vasija. Estos sólidos recirculados se ven o bien arrastrados de nuevo en la corriente ascendente de gas fluidizante o salen de la vasija. Este movimiento de material en la vasija se ilustra en la Figura 2.

El suministro anteriormente descrito de sólidos y gases también produce las siguientes reacciones en la vasija.

La desvolatilización del carbón en coque de calidad inferior y la descomposición de los volátiles del carbón en productos gaseosos (tales como H₂ y CO) y la reacción de al menos parte del coque con oxígeno para formar CO.

La reducción directa del mineral de hierro hasta mineral de hierro al menos parcialmente reducido mediante los productos gaseosos CO y H₂. Estas reacciones, a su vez, producen CO₂ y H₂O.

La reacción de parte del CO₂ con carbono para formar CO (reacción de Boudouard).

ES 2 338 341 T3

La oxidación de sólidos y gases como el coque y partículas de material metálico de alimentación parcialmente reducido, volátiles de carbón, CO y H₂ con oxígeno, que genera calor y promueve la aglomeración controlada de partículas de mineral parcialmente reducido con otras partículas dentro del lecho fluidizado.

5 Las densidades relativas de los sólidos y la inyección de los sólidos y los gases anteriormente descrita, incluyendo las ubicaciones de la inyección de los sólidos y el gas, resultan en la formación de zonas de reacción dentro de la vasija. Las zonas de reacción pueden ser contiguas.

10 Una zona de reacción es una zona 17 rica en carbono en la zona de la punta 11 de lanza de la lanza 9. En esta zona, las reacciones predominantes son reacciones oxidantes que implican la combustión de coque, volátiles de carbón, CO y H₂ con oxígeno, que generan calor.

15 La otra zona de reacción es una zona 19 rica en metales en la que (a) se desvolatiliza carbón y se forman coque y volátiles de carbón y en la que (b) los finos de mineral de hierro son reducidos al menos parcialmente mediante CO y H₂.

El flujo descendente de sólidos descrito anteriormente en la región anular entre la región central y la pared lateral facilita la transferencia de calor desde la zona rica en carbono a la zona rica en metales.

20 Además, el flujo descendente de sólidos protege parcialmente la pared lateral de una exposición directa al calor radiante procedente de la región central de la vasija.

25 El procedimiento anteriormente descrito también produce una corriente de descarga gaseosa y de sólidos arrastrados que son descargados de la vasija por medio de una salida 27 en una sección superior de la vasija. La corriente de descarga gaseosa es tratada separando los sólidos de la descarga gaseosa y devolviendo a la vasija los sólidos separados por medio de un soporte 29 de retorno de sólidos. A continuación, la descarga gaseosa es tratada mediante una serie de etapas que incluyen (a) la eliminación de sólidos, (b) el enfriamiento de la descarga gaseosa, (c) la eliminación de H₂O, (d) la eliminación de CO₂, (e) la compresión y (f) el recalentamiento. A continuación, la descarga gaseosa tratada es devuelta a la vasija como parte del gas fluidizante.

30 El procedimiento anteriormente descrito produce una corriente de sólidos, incluyendo mineral de hierro al menos parcialmente reducido y coque, que sale de la vasija por medio de una salida 25 en la base de la vasija. La corriente de sólidos puede ser tratada separando el mineral de hierro al menos parcialmente reducido y una porción de los otros sólidos. Los otros sólidos, predominantemente coque, separados de la corriente de producto pueden también devolverse a la vasija como parte del suministro de sólidos para el procedimiento. El mineral de hierro al menos parcialmente reducido recibe un tratamiento adicional según se requiera. A título de ejemplo, el mineral de hierro al menos parcialmente reducido puede suministrarse a un recipiente de fundición basado en baño licuado y ser derretido hasta convertirse en hierro fundido, por ejemplo mediante un procedimiento tal como el denominado "procedimiento HIs melt".

35 Tal como se ha indicado más arriba, la presente invención se realizó durante el transcurso de un proyecto de investigación en curso llevado a cabo por el solicitante para desarrollar la tecnología CIRCOFER para la reducción directa de mineral de hierro. El proyecto de investigación incluyó una serie de ensayos en una instalación experimental en configuraciones de una instalación de prueba del solicitante con un diámetro de 350 mm y 700 mm.

40 La siguiente exposición se centra en el trabajo de investigación en la instalación de prueba con la vasija de 700 mm de diámetro.

45 La instalación de prueba comprende un aparato del tipo mostrado en las Figuras 1 y 2. La instalación de prueba se hizo funcionar como un lecho fluidizado circulante a presión atmosférica. La vasija tiene una altura de 10,7 m. Una sección superior de la vasija tiene una altura de aproximadamente 8,9 m y un diámetro interno de 700 mm. Una sección inferior de la vasija tiene una altura de aproximadamente 1,8 m y un diámetro interno de 500 mm. Esta altura de 1,8 m incluye la altura de una parrilla de fluidización y una sección de transición entre las secciones con diámetro de 500 mm y con diámetro de 700 mm. La vasija tiene recubrimiento refractario.

50 Se trató la descarga gaseosa de la vasija para eliminar los sólidos arrastrados haciendo pasar la descarga gaseosa sucesivamente por 3 separadores ciclónicos colocados en serie. El primer separador ciclónico (separador ciclónico 1) recibió la descarga gaseosa directamente de la vasija. Los sólidos separados en el separador ciclónico fueron devueltos a la vasija mediante un depósito estanco que mantenía el cierre estanco a la presión. El segundo separador ciclónico (separador ciclónico 2) recibió la descarga gaseosa del separador ciclónico 1. Los sólidos separados en el separador ciclónico fueron devueltos a la vasija mediante un retorno directo de sólidos (es decir, sin depósito estanco). El tercer separador ciclónico (separador ciclónico 3) recibió la descarga gaseosa del segundo 2. Los sólidos separados por el separador ciclónico 3 no fueron devueltos a la vasija.

65 Después de la separación por medio de los tres separadores ciclónicos, la descarga gaseosa fue tratada adicionalmente por medio de un lavador de gases de flujo radial, que eliminó sólidos adicionales de la descarga gaseosa. Estos sólidos fueron concentrados por medio de un tanque de sedimentación y luego se los hizo pasar por un filtro giratorio para producir lodo del tanque de sedimentación.

ES 2 338 341 T3

A continuación, la descarga gaseosa que sale del lavador de gases de flujo radial fue tratada por medio de un enfriador tubular que servía para deshidratar la descarga gaseosa enfriándola al intervalo de 10-30°C. Después del tratamiento con el enfriador tubular, la descarga gaseosa fue sometida a combustión.

5 El lecho fluidizado se fluidizó con aire durante las etapas iniciales de prueba y, más tarde, fue fluidizado con una mezcla de nitrógeno y de gas hidrógeno. Como no había instalaciones para el tratamiento y el reciclado de la descarga gaseosa del procedimiento, por ejemplo para la eliminación y la compresión de CO₂, no fue posible devolverlo a la vasija como gas fluidizante. En este sentido, se usó gas hidrógeno para simular el efecto de usar la descarga gaseosa tratada como gas fluidizante.

10

En resumen, el trabajo de investigación demostró lo siguiente:

El concepto de un procedimiento de reducción en lecho fluidizado basado en carbón con inyección de oxígeno, produciendo un producto reducido con niveles de metalización de hasta el 78%.

15

Inyectar oxígeno en un lecho fluidizado o cerca del mismo con hasta un 42% de hierro metálico en el lecho parece ser viable sin la formación de acumulaciones.

20

El concepto de reducir mineral de hierro y quemar carbón parcialmente de manera simultánea en pro del ahorro energético en una vasija de lecho único parece ser viable con cargas de hierro metálico de hasta el 48% en el producto.

25

La posición de la lanza de oxígeno en la vasija es importante, debido a la conveniencia de devolver el calor de la oxidación al lecho a la vez que se minimiza el nivel de reoxidación del hierro. La posición de 4 m es más o menos la correcta para las condiciones objeto de ensayo.

30

Se fluidizó y se redujo con éxito mineral de hierro Brockman rico en fósforo sin formación excesiva de polvo. (El mineral de Brockman es un mineral de hierro friable de Australia Occidental disponible gracias a Hamersley Iron Pty Ltd, Perth, Australia Occidental).

35

Objetivos del programa experimental

El objetivo fundamental era lograr un funcionamiento estable durante un tiempo significativo con mineral Brockman (-3 mm) rico en fósforo y carbón de Blair Athol.

40

El plan era trabajar con una proporción reducida de mineral de hierro de alimentación (hasta un 20% en la salida de producto) durante dos días, con la lanza de oxígeno en una posición baja (1,9 m por encima de la plancha distribuidora (no mostrada en la Figura)) de la vasija. El propósito era trabajar a continuación durante tres días con una proporción elevada de mineral de alimentación (hasta un 70% en el producto), con la lanza de oxígeno en una posición superior (3,8 m por encima de la plancha distribuidora).

45

Puesta en marcha

50

La campaña se inició el 9 de diciembre de 2003 a las 06:00 horas con un calentamiento gradual de la vasija de 700 mm (al que se alude en lo sucesivo como "LFC") usando alúmina como material del lecho. Una vez que se alcanzó la temperatura diana, se introdujeron carbón y oxígeno en la vasija a las 15:50 horas. El caudal de oxígeno aumentó hasta 105 Nm³/h, mientras que el caudal de carbón estuvo en el intervalo de 300-450 kg/h.

55

Operación con carbón y oxígeno 10/12/03 - 11/12/03

La operación con carbón, aire y oxígeno se realizó el 10/12/03. La operación careció de complicaciones, estabilizándose el sistema con gran rapidez y manteniendo la vasija su temperatura de 900-930°C sin ningún problema.

60

Las condiciones operativas estándar durante este periodo fueron las siguientes:

Temperaturas del LFC: 930°C en la parte superior y 900°C en la parte superior

65

Caudal de flujo del gas fluidizante: 140 Nm³/h (N₂) y 300 Nm³/h (aire)

Caída de presión del LFC: 8-14 kPa

Caudal de flujo de oxígeno: hasta 100 Nm³/h

70

Caudal de flujo de gas N₂ envolvente: 30 Nm³/h

Caudal de suministro de carbón: 340-450 kg/h

ES 2 338 341 T3

Un resumen de los resultados es como sigue:

Caudal de salida del lecho: 100-160 kg/h

Salida del separador ciclónico 3: 10-14 kg/h

Análisis de la descarga gaseosa

CO/CO ₂	12,8/8,7 = 1,47
%H ₂	7,6
%CH ₄	0,7

El producto de salida era limpio, habiendo únicamente algunos trozos pequeños de +2 mm que tenían el aspecto de material refractario residual. La producción de polvo fue razonablemente baja, llegando <10% de la descarga a la salida del separador ciclónico final.

Operación con mineral de hierro (10-140 kg/h), carbón y oxígeno (lanza a 2 m de altura) 10/12/03 - 12/12/03 10/12/03 2200 - 11/12/03 06:00: Mineral de hierro a 10 kg/h

Se introdujo mineral de hierro (<3 mm) en el sistema de alimentación a las 22:00 el 10/12/03 con un caudal de 10 kg/h. También se introdujo hidrógeno en el gas fluidizante con un volumen de 20 Nm³/h para simular el uso de la descarga gaseosa como gas fluidizante. La operación careció de complicaciones, manteniéndose la ΔP del lecho a aproximadamente 10-12 kPa y teniendo el perfil de temperaturas un intervalo de solo 10°C entre la parte inferior y la parte superior del lecho.

El producto tenía un aspecto fino, sin indicio alguno de acumulaciones o aglomerados. Sin embargo, al cribar el producto (a 2 mm) se encontró algún material de mayor tamaño de tipo costra, pero se trataba únicamente de una proporción muy pequeña del producto global. La costra parecía estar compuesta de ceniza/coque y probablemente se formó en las paredes de la vasija o en la plancha distribuidora en la vasija.

Las condiciones operativas estándar y los resultados durante este periodo fueron los siguientes.

Temperaturas del LFC: 930°C en la parte inferior y 900°C en la parte superior

Caudal de flujo del gas fluidizante: 350 Nm³/h (N₂) y 20 Nm³/h (H₂)

Caída de presión del LFC: 10-13 kPa

Caudal de flujo de oxígeno: 100-115 Nm³/h

Caudal de flujo de gas N₂ envolvente: 30 Nm³/h

Caudal de suministro de carbón: 280-360 kg/h

Caudal de suministro de mineral de hierro: 10 kg/h

Un resumen de los resultados es como sigue:

Caudal de salida del lecho: 125 kg/h

Salida del separador ciclónico: 15 kg/h

Análisis de la descarga gaseosa

CO/CO ₂	10,3/9,7 = 1,06
%H ₂	9,2
%CH ₄	2,0

ES 2 338 341 T3

11/12/13 0600 - 11/12/03 12:00: Mineral de hierro a 20 kg/h

El caudal del mineral de hierro de alimentación se incrementó hasta 20 kg/h a las 06:00 del 11/12/03 hasta las 12:00 del 11/12/03 y el caudal de gas hidrógeno también se incrementó hasta 40 Nm³/h. La operación siguió careciendo de complicaciones, sin ninguna perturbación. La presión del lecho de la vasija se mantenía a aproximadamente 8-10 kPa y el perfil de temperaturas tenía un intervalo de solo 10°C entre la parte inferior y la parte superior del lecho.

El aspecto del producto siguió siendo bueno, sin indicio alguno de acumulaciones o aglomerados. Como antes, la única excepción de esto fue algún que otro trozo de material de tipo costra, que parecía estar compuesta de ceniza/coque.

Las condiciones operativas estándar y los resultados durante este periodo fueron los siguientes.

Temperaturas del LFC: 952°C en la parte inferior y 940°C en la parte superior

Caudal de flujo del gas fluidizante: 350 Nm³/h (N₂) y 40 Nm³/h

Caída de presión del LFC: 8-10 kPa

Caudal de flujo de oxígeno: 112 Nm³/h

Caudal de flujo de gas N₂ envolvente: 30 Nm³/h

Caudal de suministro de carbón: 430 kg/h

Caudal de suministro de mineral de hierro: 20 kg/h

Un resumen de los resultados es como sigue:

Caudal de salida del lecho: 125 kg/h

Salida del separador ciclónico 3: 15 kg/h

Análisis de la descarga gaseosa

CO/CO ₂	11,5/9,6 = 1,2
%H ₂	14,1
%CH ₄	2,6

Análisis de producto: (09:00 11/12/03)

	Masa %	Fe(T)	Fe ²⁺	Fe [°]	% Met.
Magnético	9	58,2	15,5	42,35	72,8
No magnético	91	1,74			

11/12/03 1200 - 12/12/03 06:00: Mineral de hierro a 40 kg/h

Resumen

El caudal del mineral de hierro de alimentación se incrementó hasta 40 kg/h a las 12:00 del 11/12/03 y se operó con este caudal hasta las 06:00 del 12/12/03, mientras que el caudal de gas hidrógeno se mantuvo a 40 Nm³/h y el caudal de carbón fue de aproximadamente 360-420 kg/h. La operación siguió careciendo de complicaciones, sin ninguna perturbación, y la salida del producto de hierro estaba muy metalizada. La producción de polvo también fue baja, saliendo menos del 10% de la descarga total del separador ciclónico final (es decir, el separador ciclónico 3). La ΔP del lecho de la vasija se mantenía a aproximadamente 9-13,5 kPa y el perfil de temperaturas tenía un intervalo de menos de 10°C entre la parte inferior y la parte superior del lecho.

Resultados

El aspecto del producto siguió siendo bueno, sin indicio alguno de acumulaciones o aglomerados.

ES 2 338 341 T3

Las condiciones operativas estándar y los resultados durante este periodo fueron los siguientes.

Temperaturas del LFC: 953°C en la parte inferior y 941°C en la parte superior

Caudal de flujo del gas fluidizante: 370 Nm³/h (N₂) y 40 Nm³/h (H₂)

Caída de presión del LFC: 9,8-13 kPa

Caudal de flujo de oxígeno: 113 Nm³/h

Caudal de flujo de gas N₂ envolvente: 30 Nm³/h

Caudal de suministro de carbón: 426 kg/h

Caudal de suministro de mineral de hierro: 40 kg/h

Un resumen de los resultados es como sigue:

Caudal de salida del lecho: 190-210 kg/h

Salida del separador ciclónico 3: 15-20 kg/h

Análisis de la descarga gaseosa

CO/CO ₂	9,9/11,4 = 0,87
%H ₂	12,9
%CH ₄	2,9

Análisis de producto: (11/12/03)

		Masa %	Fe(T)	Fe ²⁺	Fe°	% Met.	%Fe° en prod
15:00 11/12/03	Magnético	30	74,38	14,59	57,44	77,2	25,8
	No magnético	70	4,95				
19:00 11/12/03	Magnético	34,8	71,56	19,33	50,75	70,9	26,8
	No magnético	65,2	2,98				
23:00 11/12/03	Magnético	27,4	66,4	20,22	45,66	68,8	21,1
	No magnético	72,6	4,03				
02:00 12/12/03	Magnético	24,6	67,1	22,1	42,53	63,4	19,7
	No magnético	75,4	4,3				
06:00 12/12/03	Magnético	19,6	68,86	22,55	43,48	61,8	15,7
	No magnético	80,4	2,73				

La elevada metalización lograda (70-77%) indica que la lanza de oxígeno (incluso en su posición de 1,9 m) no penetró demasiado hasta el fondo del lecho y que hubo una buena segregación dentro del lecho. La parte inferior del lecho es rica en hierro. La parte superior del lecho es rica en carbono y este interactúa con la lanza de oxígeno para generar calor, y este calor es devuelto entonces al lecho mediante la recirculación de los sólidos a las partes inferiores del lecho. La baja proporción de CO/CO₂ en la descarga gaseosa indica el logro de una poscombustión elevada, devolviéndose niveles de energía al lecho, mientras que se mantienen niveles de metalización elevada en la salida del producto.

Los niveles de hierro en el producto y el grado de metalización indican que la vasija de 700 mm puede operar en modo de gasificación con hasta un 20-25% de contenido en hierro metálico sin ningún problema ni acumulaciones. Este es un logro significativo.

ES 2 338 341 T3

Inspección de la lanza de oxígeno (12/12/03)

La lanza fue extraída de la vasija de 700 mm y fue inspeccionada el 12/12/03.

5 En resumen, la lanza estaba limpia. La tubería enfriada por agua, así como la punta de la boquilla no presentaban evidencia de ninguna acumulación de material.

La lanza se volvió a colocar en la vasija en una posición más elevada, concretamente 3,8 m encima de la plancha distribuidora. Se volvió a poner en marcha la vasija con carbón y oxígeno, y después, una vez estabilizado, mineral de
10 hierro e hidrógeno.

Operación con mineral de hierro (110-200 kg/h), carbón y oxígeno (lanza a 4 m de altura) 13/12/03 - 16/12/03

15 *13/12/03 0600 - 13/12/03 12:00: Mineral de hierro a 110 kg/h*

Resumen

20 El caudal del mineral de hierro de alimentación se incrementó de manera escalonada hasta 110 kg/h a las 06:25 del 13/12/03 y se operó con este caudal hasta las 12:00 del 13/12/03, mientras que el caudal de gas hidrógeno también se incrementó de manera escalonada hasta 110 Nm³/h durante un periodo de 2 horas. El caudal de carbón fue de aproximadamente 360- 420 kg/h. La operación siguió careciendo de complicaciones, sin ninguna perturbación, y la salida del producto estaba metalizada hasta el 78%. La producción de polvo también fue baja, saliendo menos del 10%
25 de la descarga total del separador ciclónico final (es decir, el separador ciclónico 3). La ΔP del lecho de la vasija se mantenía a aproximadamente 9-13,5 kPa y el perfil de temperaturas tenía un intervalo de menos de 5°C entre la parte inferior y la parte superior del lecho.

Aumentar la altura de la lanza de 1,9 m a 3,8 no parece que tuviera un impacto en el perfil de temperaturas del lecho. De hecho, el margen de variación de las temperaturas fue de menos de 5°C desde la parte inferior a la inferior.
30

Resultados

35 El aspecto del producto siguió siendo bueno, sin indicio alguno de acumulaciones o aglomerados.

Las condiciones operativas estándar y los resultados durante este periodo fueron los siguientes.

Temperaturas del LFC: 953°C en la parte inferior y 951°C en la parte superior

40 Caudal de flujo del gas fluidizante en el LFC: 10 Nm³/h (N₂) a 860°C, 110 Nm³/h (N₂) a 740°C, 180 Nm³/h (N₂) a 680°C y 110 Nm³/h (H₂) a 860°C

Caída de presión del LFC: 8-10 kPa

45 Caudal de flujo de oxígeno: 110 Nm³/h

Caudal de flujo de gas N₂ envolvente: 30-40 Nm³/h

Caudal de suministro de carbón: 360-400 kg/h

50 Caudal de suministro de mineral de hierro: 110 kg/h

Un resumen de los resultados es como sigue:

55 Caudal de salida del lecho: 162 kg/h

Salida del separador ciclónico 3: 16 kg/h

60 Análisis de la descarga gaseosa

CO/CO ₂	10,9/9,6 = 1,14
%H ₂	19,6
%CH ₄	2,3

65

ES 2 338 341 T3

Análisis de producto: (13/12/03)

		Masa %	Fe(T)	Fe ²⁺	Fe ^o	% Met.	
5	12:00 13/12/03	Magnético	37,8	76,42	14,98	59,33	77,6
10		No magnético	62,2	2,66			

Con la posición más elevada de la lanza de oxígeno se mantuvo el perfil de temperaturas uniforme del lecho de la lanza más baja. Esto indica que incluso con la lanza de oxígeno en la posición de 3,8 m, el perfil de recirculación de sólidos es tal que se devuelve suficiente calor a la parte inferior del lecho.

El perfil de temperaturas en la vasija y en los separadores ciclónicos indicó que probablemente no hubo incremento alguno en la producción de polvo con el aumento de mineral de hierro de alimentación hasta los 110 kg/h. La salida del separador ciclónico final con respecto a la vasija tampoco cambió significativamente. Esto sugiere que o bien el mineral de hierro no se desmenuza tanto como se había predicho o que todos los finos generados vuelven a aglomerarse en la zona de temperatura elevada de la lanza de oxígeno.

13/12/03 1200 - 16/12/03 05:00: Mineral de hierro a 120 - 230 kg/h

Resumen

Durante el primer periodo de esta operación, desde las 17:00 del 13/12/03 hasta las 12:00 del 15/12/03, el caudal de operación fue de aproximadamente 120 kg/h de mineral de hierro de alimentación. Esto incluyó un periodo de perturbación en el que no hubo suministro. El periodo final operó a aproximadamente 230 kg/h de mineral de hierro de alimentación.

La operación con el caudal de 230 kg/h de mineral de hierro de alimentación siguió careciendo de complicaciones, sin ninguna perturbación, y la salida del producto de LFC oscilaba entre una metalización del 48% y el 78%. La producción de polvo también fue baja, saliendo menos del 10% de la descarga total del separador ciclónico 3. La ΔP del lecho de la vasija se mantenía a aproximadamente 8-10 kPa y el perfil de temperaturas había aumentado ahora a aproximadamente 20°C entre la parte inferior y la parte superior del lecho.

Hacer funcionar la vasija con el caudal superior de 200 kg/h de mineral de hierro de alimentación aumentó el intervalo del perfil de temperaturas del LFC, estando ahora la parte inferior del lecho hasta 20°C más frío que la parte media del lecho. Los niveles de metalización eran también inferiores con los caudales más elevados de mineral de hierro de alimentación, pero seguían en el intervalo de metalización del 60-80%.

Resultados

El aspecto del producto siguió siendo bueno, sin indicio alguno de acumulaciones o aglomerados.

Las condiciones operativas estándar y los resultados durante este periodo fueron los siguientes.

Temperaturas del LFC: 947°C en la parte inferior y 960°C en la parte superior

Temperatura del calentador de gases del LF: 740°C y 615°C el calentador principal

Caudal de flujo del gas fluidizante en el LFC: 20 Nm³/h (N₂) a 840°C, 100 20 Nm³/h (N₂) a 740°C, 185 20 Nm³/h (N₂) a 615°C y 140 Nm³/h (H₂) a 840°C

Caída de presión del LFC: 8,3-9,6 kPa

Caudal de flujo de oxígeno: 113 Nm³/h

Caudal de flujo de gas N₂ envolvente: 30-40 Nm³/h

Caudal de suministro de carbón: 380 kg/h

Caudal de suministro de mineral de hierro: 200 kg/h

ES 2 338 341 T3

Un resumen de los resultados es como sigue:

Caudal de salida del lecho: 227-286 kg/h

Salida del separador ciclónico 3: 18-24 kg/h

Análisis de la descarga gaseosa (04:00 horas del 15/12/03)

CO/CO ₂	11/10,4 = 1,06
%H ₂	16,5
%CH ₄	1,4

Análisis de producto: (13-15/12/03)

		Masa %	C (T)	Fe(T)	Fe ²⁺	Fe ^o	% Met.
17:00 13/12/03	Magnético	40,2	-	75,55	22,1	51,37	68,0
	No magnético	59,8	-	8,11			
20:00 13/12/03	Magnético	54,2	1,8	78,35	15,33	61,18	78,1
	No magnético	45,8	80,3	5,03			
17:00 13/12/03	Salida del separador ciclónico 3			12,89	2,73	2,47	19,2
20:00 13/12/03	Salida del separador ciclónico 3			15,74	3,12	6,67	42,4
02:00 15/12/03	Magnético	51,3	-	78,85	19,6	58,87	74,7
	No magnético	48,7	-	7,29			
05:00 15/12/03	Magnético	57,2	-	77,44	17,27	57,65	74,4
	No magnético	42,8	-	4,55			
07:00 15/12/03	Magnético	62,8	0,9	76,93	17,38	58,43	75,9
	No magnético	37,2	72,5	11,25			
02:00 15/12/03	Salida del separador ciclónico 3			20,29	7,77	5,38	26,5
05:00 15/12/03	Salida del separador ciclónico 3			21,73	7,69	6,28	28,9
12:00 15/12/03	Magnético	59,2	-	76,9	18,1	56,6	73,6
	No magnético	40,8	-	31,0	4,7	22,0	70,9
16:00 15/12/03	Magnético	62,7	1,9	73,6	32,5	36,0	48,9
	No magnético	37,3	53,6	27,6	8,4	13,2	48,0
22:00 15/12/03	Magnético	59,6	-	71,5	28,0	39,0	54,5
	No magnético	40,4	-	20,4	3,9	11,0	54,0
02:00 16/12/03	Magnético	53,3	-	74,1	26,8	43,5	58,7
	No magnético	46,7	-	13,7	3,7	2,8	20,1
04:00 16/12/03	Magnético	62,7	1,6	74,4	29,5	40,0	53,8
	No magnético	37,3	63,8	16,8	5,7	5,4	32,2

ES 2 338 341 T3

Con los caudales más elevados de mineral de hierro de alimentación (200 kg/h), la salida de la vasija aumentó significativamente, mientras que la salida del separador ciclónico final únicamente aumentó ligeramente. Sin embargo, la salida del separador ciclónico final con respecto a la vasija no pareció cambiar. Se observó además que la cantidad de finos <0,1 mm en la salida era inferior a la cantidad de finos <0,1 mm en la entrada. Esto sugiere que o bien el mineral de hierro no se desmenuza tanto como se había predicho o que todos los finos generados vuelven a aglomerarse en la zona de temperatura elevada de la lanza de oxígeno. El perfil de temperaturas en los separadores ciclónicos también apoya esto, puesto que no hubo aumentos significativos de temperaturas en el sistema de los separadores ciclónicos con caudales más elevados de mineral de hierro de alimentación. Los niveles de metalización del producto se mantuvieron en el intervalo de 68-78% durante los caudales elevados de mineral de hierro de alimentación, mientras que la salida de producto tenía hasta un 48% de hierro metálico.

Inspección de la lanza de oxígeno y de la vasija (16/12/03 y 19/12/03)

La lanza fue extraída de la vasija de 700 mm y fue inspeccionada el 16/12/03. En resumen, la lanza estaba bastante limpia. La tubería enfriada por agua tenía un revestimiento delgado de material, mientras que la punta de la boquilla estaba relativamente limpia. La naturaleza de la acumulación (escamosa y delgada) sugería que esto no llevaría a ningún problema operativo.

Distribución y aglomeración del hierro

El análisis de la muestra del mineral de Brockman usado como suministro del lecho fluidizado indicó un contenido en finos de aproximadamente el 10,6% por debajo de 45 micrómetros. Cabía esperar que estas unidades aparecieran como salida del separador ciclónico 3 o como lodo del tanque de sedimentación. Debido a la naturaleza friable del mineral de Brockman, cabía esperar que se produjeran finos adicionales durante el tratamiento. Por lo tanto, se esperaba que el porcentaje de las unidades de hierro que salieran del sistema a través del separador ciclónico 3 superase el 10,6%.

Se observó que aproximadamente el 7% de las unidades de hierro introducidas en el lecho fluidizado eran descargadas del separador ciclónico 3, ya sea como salida directa del separador ciclónico 3 (aproximadamente el 4%) o como salida del lavador de gases de flujo radial (aproximadamente el 3%). El análisis de la salida del producto principal del lecho fluidizado indicó que dentro del proceso había presente un mecanismo de aglomeración. Este mecanismo parecía ser fundamentalmente de partículas menores, típicamente partículas por debajo de los 100 micrómetros, aglomerándose entre sí y con partículas mayores.

Pueden realizarse muchas modificaciones a las realizaciones de la presente invención mostradas en las Figuras 1 y 2 sin apartarse del espíritu ni el alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de reducción directa para un material metalífero que comprende suministrar el material metalífero, un material carbonáceo sólido, un gas con contenido de oxígeno y un gas fluidizante a un lecho fluidizado en una vasija y mantener el lecho fluidizado en la vasija, reduciendo al menos parcialmente el material metalífero en la vasija, y descargando de la vasija una corriente de producto que comprende el material metalífero al menos parcialmente reducido, procedimiento **caracterizado** por

(a) reducir el material metalífero en estado sólido en una zona rica en metales en la vasija;

(b) inyectar el gas que contiene oxígeno sobre el suministro del material metalífero en una zona rica en carbono en la vasija con un flujo descendente en un abanico de más o menos 40 grados con respecto a la vertical y generar calor mediante reacciones entre el oxígeno y el material metalífero, el material carbonáceo sólido y otros sólidos y gases oxidables en el lecho fluidizado; y

(c) transferir calor desde la zona rica en carbono a la zona rica en metales mediante el movimiento de los sólidos dentro de la vasija.

2. El procedimiento conforme a la reivindicación 1, **caracterizado** por inyectar el gas que contiene oxígeno con un flujo descendente en un abanico de más o menos quince grados con respecto a la vertical.

3. El procedimiento conforme a las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado** por la formación de la zona rica en metales en una sección inferior de la vasija y de la zona rica en carbono en una sección intermedia de la vasija.

4. El procedimiento conforme a la reivindicación 3, **caracterizado** porque la sección intermedia es intermedia entre dicha sección inferior y una sección superior de la vasija.

5. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por inyectar el gas que contiene oxígeno en una zona central de la vasija.

6. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por controlar la diferencia de temperatura entre la temperatura global en el lecho fluidizado y la temperatura media de la superficie que da al interior de una pared lateral de la vasija para que no supere los 100°C, más preferentemente para que no supere los 50°C.

7. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que el material metalífero está en forma de finos de mineral de hierro, **caracterizado** porque la temperatura global en el lecho fluidizado está en el intervalo de 850°C a 1000°C.

8. El procedimiento conforme a la reivindicación 7, **caracterizado** porque la temperatura global en el lecho fluidizado es al menos 900°C, más preferentemente al menos 950°C.

9. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por controlar la variación de temperatura para que sea de menos de 50°C dentro del lecho fluidizado.

10. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que el material metalífero está en forma de finos de mineral de hierro, **caracterizado** porque la presión en la vasija está controlada para que esté en el intervalo de 100-1000 kPa absolutos y preferentemente 400-800 kPa absolutos.

11. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por inyectar el gas que contiene oxígeno para que haya un flujo descendente de gas en la vasija.

12. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por inyectar el gas que contiene oxígeno por medio de al menos una lanza que tiene una punta de lanza con una salida colocada en la vasija hacia el interior de de la pared lateral de la vasija en la zona central de la vasija.

13. El procedimiento conforme a la reivindicación 12, **caracterizado** porque la punta de la lanza está dirigida verticalmente hacia abajo.

14. El procedimiento conforme a las reivindicaciones 12 o 13, **caracterizado** porque la posición de la lanza y, más particularmente, la altura de la salida de la punta de la lanza están determinadas por referencia a factores tales como la velocidad de inyección del gas que contiene oxígeno, la presión de la vasija, la selección y las cantidades de los otros materiales suministrados a la vasija, y la densidad del lecho fluidizado.

15. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, **caracterizado** por enfriar con agua al menos la punta de la lanza.

ES 2 338 341 T3

16. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15, **caracterizado** por enfriar con agua al menos una superficie exterior de la lanza.
17. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por inyectar el gas que contiene oxígeno a través de una tubería central de la lanza.
18. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por inyectar el gas que contiene oxígeno con suficiente velocidad para formar una zona sustancialmente libre de sólidos en la zona de la punta de la lanza.
19. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por inyectar nitrógeno y/o vapor y/u otro gas envolvente adecuado y rodear la zona de la salida de la punta de la lanza.
20. El procedimiento conforme a la reivindicación 19, **caracterizado** por inyectar el gas envolvente en la vasija a una velocidad que es al menos el 60% de la velocidad del gas que contiene oxígeno.
21. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por suministrar al lecho fluidizado el mineral metalífero de alimentación, el material carbonáceo, el gas que contiene oxígeno y el gas fluidizante y mantener el lecho fluidizado con (a) un flujo descendente del gas que contiene oxígeno, (b) un flujo ascendente de sólidos y de gas fluidizante a contracorriente del flujo descendente del gas que contiene oxígeno, y (c) un flujo descendente de sólidos hacia el exterior del flujo ascendente de sólidos y de gas fluidizante.
22. El procedimiento conforme a la reivindicación 21, **caracterizado** porque los sólidos de los flujos ascendente y descendente de sólidos se calientan por el calor generado por las reacciones entre el gas que contiene oxígeno, al material carbonáceo sólido y otros materiales oxidables en la zona rica en carbono.
23. El procedimiento conforme a las reivindicaciones 21 o 22, **caracterizado** porque los flujos ascendente y descendente de sólidos protegen la pared lateral de la vasija del calor radiante generado por las reacciones entre el gas que contiene oxígeno y el material carbonáceo sólido y otros sólidos y gases oxidables en el lecho fluidizado.
24. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que el material metalífero está en forma de finos de mineral de hierro, **caracterizado** porque los finos tienen un tamaño de menos de 6 mm.
25. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque los finos tienen un tamaño medio de partícula en el intervalo de 0,1 a 0,8 mm.
26. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque el material carbonáceo es carbón.
27. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque el gas fluidizante comprende un gas reductor, tal como CO y H₂.
28. El procedimiento conforme a la reivindicación 27, **caracterizado** por seleccionar la cantidad de H₂ en el gas fluidizante para que sea al menos el 15% en volumen del volumen total de CO y H₂ en el gas.
29. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por descargar la corriente de producto que comprende material metalífero al menos parcialmente reducido desde la sección inferior de la vasija.
30. El procedimiento conforme a la reivindicación 29 en el que la corriente de producto comprende también otros sólidos, **caracterizado** por separar al menos una porción de los otros sólidos de la corriente de producto.
31. El procedimiento conforme a la reivindicación 30, **caracterizado** por devolver a la vasija los sólidos separados.
32. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por descargar una corriente de descarga gaseosa que contiene sólidos arrastrados procedentes de una sección superior de la vasija.
33. El procedimiento conforme a la reivindicación 32, **caracterizado** por separar sólidos de la corriente de descarga gaseosa.
34. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por mantener un lecho fluidizado circulante separando los sólidos arrastrados de la corriente de descarga gaseosa y devolviendo a la vasija los sólidos separados de la descarga gaseosa.
35. El procedimiento conforme a la reivindicación 34, **caracterizado** por devolver los sólidos separados de la descarga gaseosa a la porción inferior de la vasija.

ES 2 338 341 T3

36. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por precalentar el material metálico de alimentación con la descarga gaseosa de la vasija.

5 37. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por tratar la descarga gaseosa después de la etapa de precalentamiento y devolver a la vasija al menos una porción de la descarga gaseosa tratada como gas fluidizante.

10 38. El procedimiento conforme a la reivindicación 37, **caracterizado** porque el tratamiento de la descarga gaseosa comprende uno o más de (a) eliminación de sólidos, (b) enfriamiento, (c) eliminación de H₂O, (d) eliminación de CO₂, (e) compresión y (f) recalentamiento.

39. El procedimiento conforme a las reivindicaciones 37 o 38, **caracterizado** porque el tratamiento de la descarga gaseosa comprende devolver los sólidos a la vasija.

15 40. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que la metalización de la corriente de producto es mayor del 50%, **caracterizado** por la operación con gas reductor en el gas fluidizante.

20 41. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque el gas que contiene oxígeno comprende al menos un 90% de oxígeno en volumen.

42. El procedimiento conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por el procedimiento adicional de fundición para fundir y reducir adicionalmente el material metálico parcialmente reducido a un metal fundido.

25

30

35

40

45

50

55

60

65



