

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 442 222**

51 Int. Cl.:

C21B 13/00 (2006.01)

C22B 5/14 (2006.01)

C22B 5/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.05.2005 E 05754200 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.11.2013 EP 1756322**

54 Título: **Proceso de reducción directa**

30 Prioridad:

31.05.2004 AU 2004902898

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

10.02.2014

73 Titular/es:

**OUTOTEC OYJ (100.0%)
Puolikkotie 10
02230 Espoo, FI**

72 Inventor/es:

**ORTH, ANDREAS;
EICHBERGER, HEINZ;
PHILP, DONALD KEITH y
DRY, ROD**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 442 222 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).

DESCRIPCIÓN

Proceso de reducción directa.

5 La presente invención se refiere a un proceso de reducción directa para un material de alimentación metalífero, particularmente, aunque en absoluto con carácter exclusivo, a un proceso de reducción directa para un material de alimentación que contiene hierro, tal como mineral de hierro.

La presente invención se refiere también a un proceso para reducción de un material de alimentación metalífero que comprende un proceso de reducción directa para reducción parcial de un material de alimentación metalífero en estado sólido y un proceso de fusión para fundir y reducir ulteriormente el material de alimentación metalífero parcialmente reducido a metal fundido.

10 Los Resúmenes de Patentes de Japón, vol. 018, Núm. 468 (C-1244), 31 de agosto de 1994 y JP 06 145749A dan a conocer un proceso para la reducción directa de hierro de finos que comprenden partículas de tamaño micrométrico en un horno de lecho fluidizado circulante mientras se mantienen tasas de reducción estables y productividad alta. El proceso está basado en la incidencia mutua de las partículas de polvo gruesas y finas dentro del elevador, con lo cual el polvo fino colisiona con las partículas de polvo gruesas prolongando con ello el tiempo de retención del polvo fino para mejorar la eficiencia de reducción global.

15 La Patente U.S. 4.224.056 da a conocer un proceso de reducción directa para minerales de hierro en donde sólidos finos de mineral de hierro se hacen descender a través del lecho fluidizado de partículas finas que contienen carbono mantenidas en un reactor de tal modo que los sólidos finos de mineral de hierro pueden reducirse y simultáneamente puede producirse el gas reductor. El gas de fluidización sirve para evitar la aglomeración y sinterización de los minerales de hierro durante el proceso de reducción.

20 La presente invención se completó durante el curso de un proyecto de investigación en curso realizado por la Solicitante para desarrollar la denominada tecnología "CIRCOFER" para la reducción directa de mineral de hierro.

La tecnología CIRCOFER es un proceso de reducción directa que es capaz de reducir mineral de hierro en estado sólido a una metalización de 50% o mayor.

25 La tecnología CIRCOFER está basada en el uso de lechos fluidizados. Los materiales de alimentación principales para los lechos fluidizados son gas de fluidización, óxidos metálicos (típicamente finos de mineral de hierro), material sólido carbonoso (típicamente carbón) y gas que contiene oxígeno (típicamente oxígeno gaseoso). El producto principal producido en los lechos fluidizados está constituido por óxidos metálicos metalíferos, es decir óxidos metálicos que han sido reducidos al menos parcialmente.

30 Uno de los descubrimientos de la Solicitante en el proyecto de investigación es que es posible conducir el proceso con materiales de alimentación relativamente finos y minimizar el arrastre de unidades de hierro en una corriente de gas residual del proceso minimizando además las adherencias indeseables de materiales, tales como finos de óxidos metálicos, en las superficies expuestas del aparato de lecho fluidizado que son capaces de interrumpir el proceso. El arrastre elevado de unidades de hierro en las corrientes de gas residual y las adherencias indeseables en las superficies expuestas de los aparatos son problemas importantes para la comercialización de la tecnología CIRCOFER, particularmente con materiales de alimentación de óxidos metálicos que son relativamente quebradizos.

35 La Solicitante ha encontrado que es posible conseguir una aglomeración controlada de partículas y minimizar las adherencias indeseables de materiales, tales como óxidos metálicos, proporcionando una zona rica en carbono en un lecho fluidizado, haciendo pasar el material metalífero a lo largo de la zona, e inyectando oxígeno en la zona y oxidando las partículas más pequeñas, con inclusión de partículas metalizadas más pequeñas.

40 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un proceso de reducción directa para material metalífero sólido que comprende las características de la reivindicación 1.

Realizaciones preferidas de la invención son evidentes a partir de las reivindicaciones dependientes.

45 El proceso comprende suministrar el material metalífero, un material sólido carbonoso, un gas que contiene oxígeno, y un gas de fluidización a un lecho fluidizado en una vasija y mantener el lecho fluidizado en la vasija, reducir al menos parcialmente el material metalífero en la vasija, y descargar de la vasija una corriente de producto que comprende el material metalífero al menos parcialmente reducido, proceso que se caracteriza por: (a) establecer y mantener una zona rica en carbono en el lecho fluidizado; (b) hacer pasar el material metalífero, con inclusión de material metalífero (término que incluye material parcialmente metalífero), a lo largo de la zona rica en carbono; y (c) inyectar el gas que contiene oxígeno en la zona rica en carbono y oxidar el material metalífero, el material sólido carbonoso y otros sólidos y gases oxidables causando así una aglomeración controlada de las partículas. La aglomeración se controla por ajuste de las tasas de alimentación de uno cualquiera o más del material metalífero, el material carbonoso, la temperatura de reacción y el gas que contiene oxígeno.

Debe entenderse en esta memoria que el término zona "rica en carbono" significa una región en el lecho fluidizado en la cual existe una cantidad relativamente grande de material que contiene carbono en relación con la cantidad de material metalífero que se encuentra en otras regiones del lecho fluidizado. La Solicitante no dispone de una comprensión totalmente clara en esta etapa del mecanismo o mecanismos que hacen posible que se consiga la aglomeración controlada del material metalífero. No obstante, sin pretender quedar ligados por los comentarios que siguen, en el proyecto de investigación la Solicitante observó que los aglomerados que se formaban comprenden partículas más pequeñas, particularmente finos, adheridos unos a otros y a partículas mayores. La Solicitante especula que las condiciones en la zona rica en carbono, y más particularmente una zona caliente dentro de la zona rica en carbono, son tales que (a) las partículas de mineral de hierro de tamaño micrométrico parcial y completamente reducidas, es decir metalizadas, reaccionan con el oxígeno y generan calor, y las partículas oxidadas resultantes se vuelven adherentes; (b) las partículas finas de carbón reaccionan con el oxígeno y se oxidan, y las cenizas resultantes se vuelven adherentes; y (c) las partículas finas de mineral de hierro se vuelven adherentes como consecuencia de su calentamiento. La Solicitante especula también que estas partículas adherentes más pequeñas se adhieren a partículas mayores que tienen una capacidad mayor de disipación de calor, con el resultado ventajoso global de que se produce una reducción en la proporción de partículas más pequeñas en la vasija que pueden adherirse a las superficies de los aparatos y ser arrastradas de la vasija en una corriente de gas residual.

El proceso comprende preferiblemente suministrar el material metalífero en la forma de finos.

El proceso comprende preferiblemente suministrar el material metalífero con un tamaño de partícula máximo seleccionado y controlar la aglomeración de tal modo que el 90% de las partículas descargadas del proceso como corriente de producto no exceden del tamaño máximo seleccionado de la alimentación.

Preferiblemente, el proceso comprende suministrar el material metalífero con un tamaño de partícula máximo seleccionado y controlar la aglomeración de tal modo que no más de 30%, preferiblemente no más de 20%, y más preferiblemente no más de 10% en peso del peso total de las unidades de hierro descargadas del proceso es arrastrado en una corriente de gas residual del proceso.

Más preferiblemente, el proceso comprende controlar la aglomeración por ajuste de la tasa de alimentación del material carbonoso.

El proceso tiene ventajas considerables.

A modo de ejemplo, se ha pensado hasta ahora que la tecnología CIRCOFER requiere cantidades de carbono que son al menos 20-30% en peso del peso total de sólidos en un lecho fluidizado para impedir la aglomeración controlada que conduce a adherencias indeseables en las superficies expuestas de los aparatos del lecho fluidizado que interrumpe el proceso.

La Solicitante ha encontrado que es posible conducir el proceso con adherencias indeseables mínimas y con aglomeración controlada deseable con niveles relativamente bajos, típicamente 5-30%, de material carbonoso. Niveles bajos de material carbonoso significa que es posible producir una corriente de producto sólido con niveles bajos de carbonilla y que la corriente de producto puede suministrarse a plantas de fundición con procesamiento mínimo aguas abajo.

Adicionalmente, la aglomeración controlada de finos de material metalífero en partículas mayores que se convierten en parte de la corriente de productos sólidos en lugar de ser retiradas del proceso como sólidos arrastrados en una corriente de gas residual, significa que existe mayor recuperación del proceso y se requiere menor tratamiento del gas residual aguas abajo. Ésta es una ventaja particularmente importante para minerales de hierro que tienden a ser quebradizos y podrían fragmentarse en partículas de tamaño micrométrico en el curso del tratamiento de los materiales antes de ser suministrados a la vasija y durante el curso de su procesamiento en la vasija. Tales minerales quebradizos incluyen minerales extraídos en Australia Occidental, tales como los minerales de Brockman y Mara Maba.

En las indicaciones actuales, el proceso puede reducir típicamente finos de mineral de hierro inferiores a 3 mm con los resultados siguientes.

Al menos 90% en peso de los finos de mineral de hierro suministrados al proceso son metalíferos en cierta proporción y descargados como parte de una corriente de productos sólidos, siendo menos del 50% de los finos mayores que 2 mm.

La corriente de productos sólidos comprende dentro de 5-30% en peso de carbono.

Menos de 20% en peso de los finos de mineral de hierro suministrados al proceso se descargan del proceso con el gas residual.

Preferiblemente, el proceso comprende inyectar el gas que contiene oxígeno en una región central de la vasija, es decir una región que está localizada hacia el interior de una pared lateral de la vasija. Preferiblemente, el proceso comprende inyectar el gas que contiene oxígeno de tal modo que existe un flujo descendente del gas en la vasija.

5 Preferiblemente, el proceso comprende inyectar el gas que contiene oxígeno con un flujo descendente en un intervalo de más o menos 40 grados respecto a la vertical.

Más preferiblemente, el proceso comprende inyectar el oxígeno con un flujo descendente en un intervalo de más o menos 15 grados respecto a la vertical.

10 Preferiblemente, el proceso comprende inyectar el gas que contiene oxígeno por la vía de al menos una lanza que tiene una punta de lanza con una salida posicionada en la vasija hacia el interior de la pared lateral de la vasija en la región central de la vasija.

Preferiblemente, la punta de lanza está dirigida hacia abajo.

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

15 La posición de la lanza y, más particularmente, la altura de la salida de la punta de lanza, se determina con referencia a factores tales como la velocidad de inyección del gas que contiene oxígeno, la presión en la vasija, la selección y cantidades de los otros materiales de alimentación a la vasija, y la densidad del lecho fluidizado.

Preferiblemente, el proceso comprende enfriar con agua la punta de la lanza para minimizar la posibilidad de formación de adherencias en la punta de la lanza que podrían bloquear la inyección del gas que contiene oxígeno.

Preferiblemente, el proceso comprende enfriar con agua una superficie exterior de la lanza.

20 Preferiblemente, el proceso comprende inyectar el gas que contiene oxígeno a lo largo de un tubo central de la lanza.

Preferiblemente, el proceso comprende inyectar el gas que contiene oxígeno con velocidad suficiente para formar una zona sustancialmente exenta de sólidos en la región de la salida de la punta de la lanza a fin de minimizar la formación de adherencias que podrían bloquear la inyección del gas que contiene oxígeno.

Preferiblemente, el oxígeno se inyecta con una velocidad comprendida en el intervalo de 50-300 m/s.

25 Preferiblemente, el proceso comprende inyectar nitrógeno y/o vapor y/u otro gas de protección adecuado y proteger la región de la salida de la punta de la lanza a fin de minimizar la oxidación del metal que podría dar como resultado la formación de adherencias en la punta de la lanza que podrían bloquear la inyección del gas que contiene oxígeno.

Preferiblemente, el proceso comprende inyectar el gas de protección en la vasija a una velocidad que es al menos 60% de la velocidad del gas que contiene oxígeno.

30 En una realización, el proceso comprende establecer zonas de reacción en un lecho fluidizado y desplazar los sólidos (con inclusión de materiales metalíferos y carbonosos) y el gas que fluidización en el interior del lecho de tal modo que los sólidos pasen a lo largo de las zonas de reacción.

Las zonas de reacción pueden ser contiguas.

Una zona de reacción es la zona rica en carbono arriba descrita.

35 La otra zona de reacción es una zona rica en metal en la cual el material metalífero, tal como mineral de hierro, se reduce en estado sólido.

En esta memoria se entiende que el término zona "rica en metal" significa una región del lecho fluidizado en la cual existe una cantidad relativamente grande de material metalífero en relación con la cantidad de material que contiene carbono que en otras regiones del lecho fluidizado.

40 La zona rica en metal está localizada en una sección inferior del lecho fluidizado, y la zona rica en carbono está localizada por encima de la zona rica en metal.

Las zonas pueden ser contiguas.

El lecho fluidizado comprende movimiento ascendente y descendente de los sólidos a lo largo de las zonas.

45 Preferiblemente, el proceso comprende suministrar el material metalífero, el material sólido carbonoso, el gas que contiene oxígeno, y el gas de fluidización al lecho fluidizado y mantener el lecho fluidizado con (a) un flujo descendente del gas que contiene oxígeno, (b) un flujo ascendente de sólidos y gas de fluidización en contracorriente con el flujo descendente del gas que contiene oxígeno, y (c) un flujo descendente de los sólidos por fuera del flujo ascendente de sólidos y gas de fluidización.

En el lecho fluidizado descrito en el párrafo anterior, los sólidos en los flujos ascendente y descendente de sólidos se calientan por el calor generado por las reacciones entre el gas que contiene oxígeno, el material carbonoso y otros materiales oxidables (tales como CO, materias volátiles y H₂) en la zona rica en carbono. Los sólidos en el flujo descendente de sólidos transfieren calor a la zona rica en metal.

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

Preferiblemente, el material carbonoso es carbón. En dicha situación, el proceso desvolatiliza el carbón a carbonilla y al menos parte de la carbonilla reacciona con el oxígeno y forma CO en el lecho fluidizado. Las materias volátiles del carbón se descomponen también a gases tales como CO y H₂, los cuales pueden reaccionar ulteriormente a su vez con el oxígeno en el lecho fluidizado.

- 10

Preferiblemente, el gas de fluidización comprende un gas reductor, tal como CO y H₂.

Preferiblemente, el proceso comprende seleccionar la cantidad de H₂ en el gas de fluidización de modo que sea al menos 15% en volumen del volumen total de CO y H₂ en el gas.

- 15 Preferiblemente, el proceso comprende descargar la corriente de producto que comprende al menos material metalífero parcialmente reducido procedente de la sección inferior de la vasija.

Preferiblemente, la corriente de producto comprende también otros sólidos (por ejemplo carbonilla).

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

- 20 Preferiblemente, el proceso comprende devolver al menos una porción de los otros sólidos a la vasija.

Preferiblemente, el proceso comprende descargar una corriente de gas residual que contiene sólidos arrastrados desde una sección superior de la vasija.

Preferiblemente, el proceso comprende separar al menos una porción de los sólidos arrastrados de la corriente de gas residual.

- 25 Preferiblemente, el proceso comprende mantener un lecho fluidizado circulante por separación de los sólidos arrastrados de la corriente de gas residual y devolver al menos una porción de los sólidos separados a la vasija.

Preferiblemente, el proceso comprende devolver los sólidos separados del gas residual a la sección inferior del lecho fluidizado.

- 30 Preferiblemente, el proceso comprende precalentar el material de alimentación metalífero con el gas residual de la vasija.

Preferiblemente, el proceso comprende tratar el gas residual después del paso de precalentamiento y devolver al menos una porción del gas residual tratado a la vasija como el gas de fluidización.

Preferiblemente, el tratamiento del gas residual comprende uno o más de (a) eliminación de sólidos, (b) enfriamiento, (c) eliminación de H₂O; (d) eliminación de CO₂, (e) compresión, y (f) recalentamiento.

- 35 Preferiblemente, el tratamiento del gas residual comprende devolución de sólidos a la vasija.

El proceso puede conducirse para producir una corriente de producto que comprende desde metalización baja a alta dependiendo de los requerimientos aguas abajo para el material metalífero al menos parcialmente reducido. La metalización puede comprender desde 30 a más de 80%. En situaciones en las que se requiere una metalización mayor que 50%, el proceso comprende preferiblemente conducir con gas reductor en el gas de fluidización. Una opción para el gas de fluidización en este caso es gas residual tratado de la vasija. En situaciones en las que se requiere metalización menor que 50%, se contempla que no será necesario conducir con gas reductor en el gas de fluidización y puede obtenerse material reductor suficiente por la vía del material sólido carbonoso suministrado al proceso.

- 40

El gas que contiene oxígeno puede ser cualquier gas adecuado.

- 45 Preferiblemente, el gas que contiene oxígeno comprende al menos 90% en volumen de oxígeno.

La presente invención se describe adicionalmente con referencia al dibujo que se acompaña, que es un diagrama de un aparato para reducción directa de un material metalífero por una realización de un proceso de acuerdo con la presente invención que ilustra las zonas de reacción formadas por el proceso dentro de la vasija representada en la figura.

La descripción que sigue se hace en el contexto de la reducción directa de un material de alimentación metalífero en la forma de mineral de hierro en estado sólido. La presente invención no está limitada a ello y se extiende a la reducción directa de otros materiales que contienen hierro (tales como ilmenita) y de modo más general a otros materiales metalíferos.

5 La descripción que sigue se hace también en el contexto de la reducción directa de mineral de hierro con carbón como material sólido carbonoso, oxígeno como gas que contiene oxígeno, y gas residual reciclado que contiene una mixtura de CO y H₂ como gas de fluidización. La presente invención no debe considerarse limitada en este sentido y se extiende al uso de cualquier otro material sólido carbonoso, gas que contiene oxígeno, y gas de fluidización adecuados.

10 Con referencia a la Figura, materiales de alimentación sólidos, a saber mineral de hierro (típicamente finos clasificados de tamaño menor que 6 mm) y carbón, oxígeno y gas de fluidización, se suministran a la vasija 3 representada en la Figura y establecen un lecho fluidizado en la vasija.

Los materiales sólidos de alimentación se suministran a la vasija por la vía de un dispositivo de suministro de sólidos tal como un alimentador de tornillo o una lanza de inyección de sólidos 5 que se prolonga a lo largo de una pared lateral 7 de la vasija.

15 El oxígeno se inyecta en la vasija por la vía de una lanza 9 que tiene una punta de lanza 11 con una salida que dirige el oxígeno en dirección descendente en una región central de la vasija, es decir espaciada internamente de la pared lateral 7 de la vasija. La punta de la lanza está dirigida hacia abajo en la vasija. El gas de fluidización se inyecta por la vía de una serie de toberas o boquillas (no representadas) en una base 13 de la vasija.

20 El suministro arriba descrito de sólidos y gases produce las reacciones siguientes en la vasija.

Desvolatilización de los finos de carbón a carbonilla y descomposición de las materias volátiles del carbón en productos gaseosos (tales como CO y H₂) y reacción de al menos parte de la carbonilla con oxígeno para formar CO.

25 Reducción directa del mineral de hierro a hierro al menos parcialmente reducido por el CO y H₂, reacciones que producen CO₂ y H₂O.

Reacción de CO₂ con carbono para formar CO (reacción de Boudouard).

30 Oxidación de sólidos y gases, tales como partículas de mineral de hierro parcialmente reducido, carbonilla, materias volátiles del carbón, CO, y H₂ (inyectados como parte del gas de fluidización o producidos por descomposición de las materias volátiles del carbón) con oxígeno que genera calor que contribuye al mantenimiento de las reacciones descritas en los puntos anteriores y que contribuye también a una aglomeración controlada deseable de las partículas más pequeñas de mineral reducido para formar partículas de mineral reducido mayores.

Las densidades relativas de los sólidos y la inyección arriba descrita de los sólidos y los gases, con inclusión de las localizaciones de la inyección de sólidos/gas, dan como resultado la formación de zonas de reacción en la vasija. Las zonas pueden ser contiguas.

35 Una zona de reacción es una zona rica en carbono 17 en la región de la punta de lanza 11 de la lanza 9, es decir una sección intermedia de la vasija en términos de altura. Esta zona, las reacciones predominantes son reacciones de oxidación que implican la combustión de material metalífero, carbonilla, materias volátiles del carbón, CO, y H₂ con oxígeno que generan calor, particularmente en una zona caliente 51 en la proximidad inmediata de la punta de lanza 11.

40 La otra zona de reacción es una zona rica en metal 19 en una sección inferior de la vasija en la cual (a) el carbón se desvolatiliza y forma carbonilla y materias volátiles, y (b) los finos de mineral de hierro se reducen al menos parcialmente y se metalizan con ello por la acción de CO, y H₂.

45 El suministro arriba descrito de sólidos y gases produce un flujo ascendente de gas de fluidización y sólidos arrastrados en la región central de la vasija. En proporción creciente, a medida que los sólidos se desplazan hacia arriba, dichos sólidos se desprenden de la corriente ascendente de gas de fluidización y fluyen hacia abajo en una región anular entre la región central y la pared lateral de la vasija. Los sólidos recirculados o bien son arrastrados de nuevo en la corriente ascendente de gas de fluidización o se descargan de la vasija. El movimiento de los sólidos transporta los sólidos a lo largo de la zona caliente 51 y las partículas más pequeñas, en particular partículas de tamaño micrométrico metalizadas se vuelven adherentes y se adhieren a otras partículas, particularmente partículas mayores. Como se ha indicado arriba, esta aglomeración de partículas más pequeñas proporciona ventajas sustanciales.

La corriente ascendente de gas de fluidización y sólidos arrastrados en la región central de la vasija 3 se mueve en contracorriente con el flujo descendente de gas que contiene oxígeno y se cree que da como resultado el arrastre de algo de los sólidos en el gas que contiene oxígeno. Se cree que la interacción de los flujos en contracorriente de gas

de fluidización y oxígeno limita la proporción en la que los sólidos arrastrados en o que pasan a través del flujo de oxígeno pueden entrar en contacto con las superficies de la vasija y causar adherencias. Se cree que la formación de adherencias está limitada adicionalmente debido a la localización central del flujo de gas que contiene oxígeno en el interior de la vasija.

- 5 El flujo descendente arriba descrito de sólidos en la región anular entre la región central y la pared lateral facilita la transmisión de calor desde la zona rica en carbono a la zona rica en metal.

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

- 10 El proceso arriba descrito produce también una corriente de gas residual y sólidos arrastrados que se descarga de la vasija por una salida 27 en una sección superior de la vasija.

La corriente de gas residual se procesa por separación de los sólidos del gas residual y retorno de los sólidos separados a la vasija por la vía de una rama de retorno de sólidos 29. Después de ello, el gas residual es tratado por una serie de pasos que incluyen (a) eliminación de sólidos, (b) enfriamiento del gas residual, (c) eliminación de H₂O; (d) eliminación de CO₂, (e) compresión, y (f) recalentamiento.

- 15 El gas residual tratado se devuelve después de ello a la vasija como parte del gas de fluidización.

El proceso arriba descrito produce una corriente de sólidos, con inclusión de mineral de hierro al menos parcialmente reducido y carbonilla, que se descarga de la vasija por la vía de una salida 25 en la base de la vasija.

- 20 La corriente de sólidos puede procesarse por separación del mineral de hierro al menos parcialmente reducido y al menos parte de los otros sólidos. Los otros sólidos, predominantemente carbonilla, pueden devolverse a la vasija como parte de la alimentación de sólidos para el proceso. El mineral de hierro al menos parcialmente reducido se procesa ulteriormente en caso requerido. A modo de ejemplo, el mineral de hierro al menos parcialmente reducido puede suministrarse a una vasija de fusión basada en baño fundido y fundirse a fundición de hierro, por ejemplo por un proceso tal como el denominado "proceso Hlsmelt".

- 25 Como se ha indicado arriba, la presente invención se realizó durante el curso de un proyecto de investigación en curso llevado a cabo por la Solicitante para desarrollar la tecnología CIRCOFER para la reducción directa de mineral de hierro. El proyecto de investigación incluía una serie de operaciones en planta piloto en montajes de planta piloto de 350 mm de diámetro y 700 mm de diámetro de la Solicitante.

La exposición siguiente está enfocada a un trabajo de investigación en la planta piloto con la vasija de 700 mm de diámetro.

- 30 La planta piloto comprende un aparato del tipo que se muestra en las Figuras 1 y 2. La planta piloto operaba como un lecho fluidizado circulante a la 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 interior de 700 mm. Una sección inferior de la vasija tiene una altura de aproximadamente 1,8 m y un diámetro interior de 500 mm. Esta altura de 1,8 m incluye la altura de una rejilla de fluidización y una sección de transición entre las secciones de 500 mm de diámetro y 700 mm de diámetro. La vasija está revestida interiormente de refractario.

- 35 El gas residual procedente de la vasija se procesó para eliminar los sólidos arrastrados haciendo pasar el gas residual sucesivamente a lo largo de 3 ciclones conectados en serie. El primer ciclón (ciclón 1) recibía gas residual directamente de la vasija. Los sólidos separados en el ciclón se devolvieron a la vasija por un calderín de estanqueidad que proporcionaba cierre de presión. El segundo ciclón (ciclón 2) recibía gas residual procedente del ciclón 1. Los sólidos separados en el ciclón se devolvieron a la vasija por un retorno directo de sólidos (es decir sin calderín de estanqueidad). El tercer ciclón (ciclón 3) recibía gas residual del segundo ciclón 2. Los sólidos separados por el ciclón 3 no se devolvieron a la vasija.

- 40 Después de la separación de los sólidos por los 3 ciclones, el gas residual se trató ulteriormente por un lavador de flujo radial, que eliminaba ulteriormente sólidos del gas residual. Estos sólidos se concentraron por un espesador y se hicieron pasar luego a lo largo de un filtro de tambor para producir un fango del espesador.

El gas residual que salía del lavador de flujo radial se trató luego por un refrigerante tubular que operaba para deshidratar el gas residual por enfriamiento del mismo hasta dentro del intervalo de 10-30°C. Después del tratamiento en el refrigerante tubular, el gas residual se envió a la combustión.

- 45 El lecho fluidizado estaba fluidizado por aire durante las etapas iniciales del test y se fluidizó más tarde por medio de una mezcla de nitrógeno e hidrógeno gaseosos. Dado que no había provisión alguna para procesamiento y reciclo del gas residual del proceso, v.g. eliminación y compresión de CO₂, no fue posible que el mismo se devolviera a la vasija como gas de fluidización. A este respecto, se utilizó hidrógeno gaseoso para simular el efecto de la utilización del gas residual del proceso como gas de fluidización.

En suma, el trabajo de investigación demostró lo siguiente:

El concepto de un proceso de reducción en lecho fluidizado basado en carbón con inyección de oxígeno, que producía un producto reducido con niveles de metalización de hasta 78%.

5 La inyección de oxígeno en y/o cerca de un lecho fluidizado con hasta 42% de hierro metálico en el lecho parece ser factible sin formación de adherencias.

El concepto de reducción simultánea de mineral de hierro y combustión parcial de carbón para energía en una vasija de un solo lecho parece ser factible, para cargas de hierro metálico hasta 48% en el producto.

10 La posición de la lanza de oxígeno en la vasija es importante debido a la conveniencia de transferir el calor de oxidación de nuevo al lecho al tiempo que se minimiza el nivel de reoxidación del hierro. La posición de 4 m es aproximadamente correcta para las condiciones testadas.

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

Objetivos del programa experimental:

15 El objetivo primario era conseguir una operación estable durante una cantidad de tiempo significativa con mineral Brockman rico en fósforo (-3 mm) y carbón de Blair Athol.

20 El plan era conducir con alimentación de mineral pobre en hierro (hasta 20% en la descarga del producto) durante 2 días con la lanza de oxígeno en posición baja (1,9 m por encima de la placa distribuidora (no representada en la figura) de la vasija. La finalidad era conducir luego durante 3 días con alimentación de mineral rica (hasta 70% en el producto) con la lanza de oxígeno en una posición superior (3,8 m por encima de la placa distribuidora).

Puesta en marcha:

25 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 (a la que se hace referencia también en lo sucesivo como "CFB") utilizando alúmina como el material de lecho. Una vez alcanzada la temperatura diana, se introdujeron carbón y oxígeno en la vasija a las 15:50 horas. El caudal de oxígeno se aumentó hasta 105 Nm³/hora, mientras que la tasa de carbono estaba comprendida en el intervalo de 300-450 kg/h.

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

La operación con carbón, aire y oxígeno se realizó en fecha 10/12/03. La operación era muy suave, estabilizándose el sistema bastante rápidamente, y manteniendo la vasija su temperatura de 900-930°C sin problema alguno.

30 Las condiciones estándar de operación durante este periodo fueron como sigue:

Temperatura en la CFB: 930°C en el fondo y 900°C en la parte superior

Caudal de gas de fluidización: 140 Nm³/h (N₂) y 300 Nm³/h (aire)

Caída de presión en la CFB: 80-140 mbar

Caudal de oxígeno: hasta 100 Nm³/h

35 Caudal del gas de protección N₂: 30 Nm³/h

Tasa de alimentación de carbón: 340-450 kg/h

Un sumario de los resultados es como sigue:

Tasa de descarga del lecho: 100-160 kg/h

Descarga del ciclón 3: 10-14 kg/h

40 Análisis del gas residual:

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

El producto de descarga era limpio con sólo algunos pequeños fragmentos mayores que 2 mm que parecían material refractario residual. La producción de polvo era razonablemente baja, correspondiendo <10% de la descarga a la descarga del ciclón final.

5 Operación con Mineral de Hierro (10-140 kg/h), carbón y oxígeno (lanza de 2 m de altura) 10/12/03-12/12/03

10/12/03 22:00 - 11/12/03 06:00: Mineral de Hierro a 10 kg/h

10 El mineral de hierro (<3 mm) se introdujo en el sistema de alimentación a las 22:00 en fecha 10/12/03 a una tasa de 10 kg/h. Se introdujo también hidrógeno en el gas de fluidización a un caudal de 20 Nm³/h para simular la utilización de gas residual procesado como gas de fluidización. La operación era suave, manteniéndose la ΔP del lecho a aproximadamente 100-120 mbar y teniendo el perfil de temperatura un intervalo de sólo 10°C entre el fondo y la parte superior del lecho.

15 El producto parecía fino sin signo alguno de adherencia o aglomerados. Sin embargo, en el cribado del producto (para 2 mm) se encontró algo de material de tipo escamoso, pero si bien este era sólo una porción muy pequeña del producto global. Las escamas parecían estar hechas de cenizas/carbonilla y probablemente se formaban en las paredes de la vasija o la placa distribuidora en la vasija.

Las condiciones estándar de la operación y los resultados durante este periodo fueron como sigue:

Temperaturas en la CFB: 930°C en el fondo y 900°C en la parte superior

Caudal de gas de fluidización: 350 Nm³/h (N₂) y 20 Nm³/h (H₂)

Caída de presión en la CFB: 100-130 mbar

20 Caudal de oxígeno: 100-115 Nm³/h

Caudal de flujo del gas de protección N₂: 30 Nm³/h

Tasa de alimentación de carbón: 280-360 kg/h

Tasa de alimentación del mineral de hierro: 10 kg/h

Un resumen de los resultados es como sigue:

25 Tasa de descarga del lecho: 125 kg/h

Descarga del ciclón: 15 kg/h

Análisis del gas residual:

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

11/12/13 0600-11/12/03 1200: Mineral de Hierro a 20 kg/h

30 La tasa de alimentación de mineral de hierro se incrementó hasta 20 kg/h a las 0600 en fecha 11/12/03 hasta las 1200 11/12/03, y la tasa de hidrógeno gaseoso se incrementó también hasta 40 Nm³/h. La operación siguió siendo uniforme, sin interrupción alguna. La presión en el lecho de la vasija se mantuvo a aproximadamente 80-100 mbar, y el perfil de temperatura tenía una diferencia de sólo 10°C entre el fondo y la parte superior de la vasija.

35 El aspecto del producto continuó siendo satisfactorio, sin signo alguno de adherencias o aglomerados. Como anteriormente, la única excepción a esto fue el fragmento singular de material de tipo escamoso, que parecía estar compuesto por cenizas/carbonilla.

Las condiciones estándar y los resultados de la operación durante este periodo fueron como sigue:

Temperaturas en la CFB: 952°C en el fondo y 940°C en la parte superior

Caudal de gas de fluidización: 350 Nm³/h (N₂) y 40 Nm³/h

40 Caída de presión en la CFB: 80-100 mbar

Caudal de oxígeno: 112 Nm³/h

Caudal del gas de protección N₂: 30 Nm³/h

Tasa de Alimentación de Carbón: 430 kg/h

Tasa de alimentación de mineral de hierro: 20 kg/h

5 Un resumen de los resultados es como sigue:

Tasa de descarga del lecho: 125 kg/h

Descarga del ciclón 3: 15 kg/h

Análisis del gas residual

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

10 Análisis del producto: (09:00 11/12/03)

	Peso %	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 0600: Mineral de hierro a 40 kg/h

Sumario:

15 La tasa de alimentación de mineral de hierro se aumentó hasta 40 kg/h a las 1200 en fecha 11/12/03 y se operó con esta tasa hasta las 0600 del 12/12/03, mientras que el caudal de hidrógeno gaseoso se mantuvo a 40 Nm³/h y la tasa de carbón era alrededor de 360-420 g/h. La operación continuó siendo uniforme sin interrupción alguna y la descarga del producto hierro estaba altamente metalizada. La producción de polvo era también baja, procediendo menos de 10% de la descarga total del ciclón final (es decir, el ciclón 3). La ΔP del lecho de la vasija se mantenía a aproximadamente 90-135 mbar y el perfil de temperatura tenía una diferencia menor que 10°C entre el fondo y la

20 parte superior del lecho.

Resultados

El aspecto del producto continuó siendo satisfactorio, sin signo alguno de adherencias o aglomerados.

Las condiciones estándar y los resultados de la operación durante este periodo fueron como sigue:

Temperaturas en la CFB: 953°C en el fondo y 941°C en la parte superior

25 Caudal de gas de fluidización: 370 Nm³/h (N₂) y 40 Nm³/h (H₂)

Caída de presión en la CFB: 98-130 mbar

Caudal de oxígeno: 113 Nm³/h

Caudal del gas de protección N₂: 30 Nm³/h

Tasa de Alimentación de Carbón: 426 kg/h

30 Tasa de alimentación de mineral de hierro: 40 kg/h

Un sumario de los resultados es como sigue:

Tasa de Descarga del Lecho: 190-210 kg/h

Descarga del ciclón 3: 15-20 kg/h

Análisis del gas residual

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

Análisis del producto: (11/12/03)

		Peso %	Fe(T)	Fe ²⁺	Fe ^o	% Met.	%Fe ^o en Prod.
1500 11/12/03	Magnético	30	74,38	14,59	57,44	77,2	25,8
	No magnético	70	4,95				
1900 11/12/03	Magnético	34,8	71,56	19,33	50,75	70,9	26,8
	No magnético	65,2	2,98				
2300 11/12/03	Magnético	27,4	66,4	20,22	45,66	68,8	21,1
	No magnético	72,6	4,03				
0200 12/12/03	Magnético	24,6	67,1	22,1	42,53	63,4	19,7
	No magnético	75,4	4,3				
0600 12/12/03	Magnético	19,6	68,86	22,55	43,48	61,8	15,7
	No magnético	80,4	2,73				

- 5 La alta metalización alcanzada (70-77%) indica que la lanza de oxígeno (incluso en su posición a 1,9 m) no penetraba demasiado lejos hasta el fondo del lecho y que existía una segregación satisfactoria en el interior del lecho. La parte inferior del lecho es rica en hierro. La parte superior del lecho es rica en carbono y éste está interaccionando con la lanza de oxígeno para generar calor, calor que se transfiere luego nuevamente al lecho por la recirculación de los sólidos a las partes inferiores del lecho. La baja ratio CO/CO₂ en el gas residual indica la consecución de una post-combustión elevada, transfiriéndose los niveles de energía de nuevo al lecho, en tanto que se mantienen niveles altos de metalización en la descarga de producto.
- 10

Los niveles de hierro en el producto y el grado de metalización indican que la vasija de 700 mm puede hacerse operar en modo gasificación con hasta 20-25% de contenido de hierro metálico sin problema alguno de adherencias. Esto es un logro considerable.

15 Inspección de la Lanza de Oxígeno (12/12/03)

La lanza se retiró de la vasija de 700 mm y se inspeccionó en fecha 12/12/03.

En resumen, la lanza estaba limpia. El tubo enfriado con agua, así como la punta de la boquilla no exhibían evidencia alguna de acumulación de material.

- 20 La lanza se colocó de nuevo en la vasija en una posición más elevada, a saber, 3,8 m por encima de la placa distribuidora. La vasija se puso de nuevo en funcionamiento con carbón y oxígeno, y luego, una vez estabilizada, con mineral de hierro e hidrógeno.

Operación con Mineral de Hierro (110-200 kg/h), Carbón y Oxígeno (altura de la lanza 4 m) 13/12/003 – 16/12/03
13/12/03 0600 – 13/12/03 1200: Mineral de Hierro a 110 kg/h

Sumario:

- 25 La tasa de alimentación de mineral de hierro se incrementó gradualmente hasta 110 kg/h a las 0625 en fecha 13/12/03 y se operó con esta tasa hasta las 1200/13/12/03, en tanto que el caudal de hidrógeno gaseoso se incrementó también gradualmente hasta 110 Nm³/h durante un periodo de 2 horas. La tasa de carbón era alrededor de 360-400 kg/h. La operación continuó siendo uniforme sin interrupción alguna, y la descarga del producto hierro de la vasija estaba metalizada hasta 78%. La producción de polvo era también baja, procediendo <10% de la descarga total del ciclón final (es decir, el ciclón 3). La ΔP del lecho de la vasija se mantenía a aproximadamente 90-135 mbar y el perfil de temperatura tenía una diferencia menor que 5°C entre el fondo y la parte superior del lecho.
- 30

ES 2 442 222 T3

El aumento de la altura de la lanza desde 1,9 m a 3,8 m no impactaba aparentemente sobre el perfil de temperatura del lecho. De hecho, la diferencia de temperaturas era menor que 5°C desde la parte superior al fondo.

Resultados:

El aspecto del producto continuaba siendo satisfactorio sin signo alguno de adherencias o aglomerados.

5 Las condiciones estándar de la operación y los resultados durante este periodo fueron como sigue:

Temperaturas en la CFB: 953°C (fondo) y 951°C (parte superior)

Caudal de gas de fluidización en la CFB: 10 Nm³/h (N₂) a 860°C, 110 Nm³/h (N₂) a 640°C, 180 Nm³/h (N₂) a 680°C, y 110 Nm³/h (H₂) a 860°C

Caída de presión en la CFB: 90-100 mbar

10 Caudal de oxígeno: 110 Nm³/h

Caudal del gas de protección N₂: 30-40 Nm³/h

Tasa de Alimentación de Carbón: 360-400 kg/h

Tasa de Alimentación de Mineral de Hierro: 100 kg/h

Un resumen de los resultados es como sigue:

15 Tasa de Descarga del Lecho: 162 kg/h

Descarga del ciclón 3: 16 kg/h

Análisis del gas residual

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

Análisis del producto: (13/12/03)

		Peso %	Fe(T)	Fe ²⁺	Fe ⁰	%Met.
1200 13/12/03	Magnético	37,8	76,42	14,98	59,33	77,6
	No magnético	62,2	2,66			

20

Con la posición de la lanza de oxígeno más alta, se mantuvo el perfil uniforme de temperatura del lecho de la lanza inferior. Esto indica que incluso con la lanza de oxígeno en la posición 3,8 m el perfil de recirculación de los sólidos es tal que se transfiere de nuevo suficiente calor al fondo del lecho.

25 El perfil de temperatura en la vasija y los ciclones indicaba que probablemente no existía aumento alguno en la producción de polvo con el aumento en la tasa de alimentación de mineral de hierro hasta 110 kg/h. La descarga del ciclón final con relación a la vasija no cambiaba tampoco significativamente. Esto sugiere que o bien el mineral de hierro no se está fragmentando tanto como se había predicho o que cualesquiera finos generados se reaglomeran en la región de temperatura elevada de la lanza de oxígeno.

13/12/03 1200 - 16/12/03 0500: Mineral de Hierro a 120-230 kg/h

30 Sumario:

Durante el primer periodo de esta operación desde las 17:00 de 13/12/03 a las 12:00 de 16/12/03, la tasa de operación era aproximadamente 120 kg/h de alimentación de mineral de hierro. Esto incluía un periodo de perturbación en el que no se introducía alimentación alguna. El periodo final se condujo a aproximadamente 230 kg/h de alimentación de mineral de hierro.

35 La operación con una tasa de alimentación de 230 kg/h de mineral de hierro era uniforme sin interrupción alguna, y la descarga del producto hierro de la CFB variaba desde 48% a 78% de metalización. La producción de polvo era

ES 2 442 222 T3

también baja, <10% de la descarga total, procediendo del ciclón 3. La ΔP del lecho de la vasija se mantenía a aproximadamente 80-100 mbar y la diferencia del perfil de temperatura había aumentado ahora a aproximadamente 20°C entre el fondo y la parte superior del lecho.

- 5 La operación de la vasija a la tasa de alimentación del mineral de hierro más alta de 200 kg/h aumentaba la diferencia de perfil de temperatura de la CFB, encontrándose ahora la parte del fondo del lecho hasta 20°C más fría que el centro del lecho. Los niveles de metalización eran también inferiores a las tasas mayores de alimentación de mineral de hierro, pero se mantenían todavía dentro del intervalo de metalización de 60-80%.

Resultados:

El aspecto del producto continuaba siendo satisfactorio, sin signo alguno de adherencias o aglomerados.

- 10 Las condiciones estándar de la operación y los resultados durante este periodo fueron como sigue:

Temperaturas en la CFB: 947°C en el fondo y 960°C en la parte superior

Temperatura del calentador de gas FB: 740°C y 615°C en el calentador principal

Caudal del gas de fluidización de la CFB: 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

- 15 Caída de presión en la CFB: 83-96 mbar

Caudal de oxígeno: 113 Nm³/h

Caudal de gas de protección N₂: 30-40 Nm³/h

Tasa de Alimentación de Carbón: 380 kg/h

Tasa de Alimentación de Mineral de Hierro: 200 kg/h

- 20 Un resumen de los resultados es como sigue:

Tasa de Descarga del Lecho: 227-286 kg/h

Descarga del ciclón 3: 18-24 kg/h

Análisis del gas residual (0400 horas 15/12/03):

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

- 25 Análisis del producto: (13-15/12/03)

		Peso %	C(T)	Fe(T)	Fe ²⁺	Fe°	% Met.
1700 13/12/03	Magnético	40,2	-	75,55	22,1	51,37	68,0
	No magnético	59,8	-	8,11			
2000 13/12/03	Magnético	54,2	1,8	78,35	15,33	61,18	78,1
	No magnético	45,8	80,3	5,03			
1700 13/12/03	Descarga del ciclón 3			12,89	2,73	2,47	19,2
2000 13/12/03	Descarga del ciclón 3			15,74	3,12	6,67	42,4
0200 15/12/03	Magnético	51,3	-	78,85	19,6	58,87	74,7
	No magnético	48,7	-	7,29			
0500 15/12/03	Magnético	57,2	-	77,44	17,27	57,65	74,4

	No magnético	42,8	-	4,55			
0700 15/12/03	Magnético	62,8	0,9	76,93	17,38	58,43	75,9
	No magnético	37,2	72,5	11,25			
0200 15/12/03	Descarga del ciclón 3			20,29	7,77	5,38	26,5
0500 15/12/03	Descarga del ciclón 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

5 A las tasas de alimentación de mineral de hierro altas (200 kg/h), la descarga de la vasija aumentaba significativamente, mientras que la descarga del ciclón final aumentaba sólo ligeramente. Sin embargo, la descarga del ciclón final concerniente a la vasija no parecía cambiar. Adicionalmente, se observó que la cantidad de finos <0,1 mm en la descarga era menor que la cantidad de finos <0,1 mm en la alimentación. Esto sugiere que o bien el mineral de hierro no se está fragmentando tanto como se había predicho, o que cualesquiera finos generados se reaglomeran en la región de alta temperatura de la lanza de oxígeno. El perfil de temperatura a lo largo de los ciclones respalda también esto, dado que no se registraba aumento significativo alguno en las temperaturas a lo largo del sistema de ciclones para las tasas más altas de alimentación de mineral de hierro. Los niveles de metalización del producto se mantenían dentro del intervalo de 68-78% durante las tasas de alimentación de mineral de hierro altas, mientras que la descarga de producto tenía hasta 48% de hierro metálico.

Inspección de la Lanza de Oxígeno y la Vasija (16/12/03 y 19/12/03)

15 Se retiró la lanza de la vasija de 700 mm y se inspeccionó en fecha 16/12/03. En resumen, la lanza estaba aceptablemente limpia. El tubo enfriado con agua tenía un recubrimiento 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 debería conducir a ningún problema operativo.

Distribución y Aglomeración del Hierro

20 El análisis de la muestra de mineral Brockmam utilizada como alimentación al lecho fluidizado indicaba un contenido de finos de aproximadamente 10,6% inferiores a 45 micrómetros. Era de esperar que estas unidades aparecieran como salida del ciclón 3 o como fango más grueso. Debido a la naturaleza desmenuzable del Mineral Brockmam, se esperaba que se produjeran finos adicionales durante el procesamiento. Por tanto, era de esperar que el porcentaje de unidades de hierro que salieran del sistema a través del ciclón 3 excediera de 10,6%.

25 Se observó que aproximadamente 7% de las unidades de hierro alimentadas al lecho fluidizado se descargaban a través del ciclón 3, fuese como producción directa del ciclón 3 (aproximadamente 4%) o como salida del lavador de flujo radial (aproximadamente 3%). El análisis de la salida principal del producto del lecho fluidizado indicaba que existía un mecanismo de aglomeración en el proceso. Este mecanismo parecía consistir fundamentalmente en partículas más pequeñas, típicamente partículas inferiores a 100 micrómetros, que se aglomeraban unas a otras y a partículas mayores.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso de reducción directa para un material metalífero sólido que tiene una distribución de tamaños de partícula que comprende al menos en parte partículas de tamaño micrónico, proceso que comprende suministrar el material metalífero, un material sólido carbonoso, un gas que contiene oxígeno, y un gas de fluidización a un lecho fluidizado en una vasija y mantener el lecho fluidizado en una vasija, reducir al menos parcialmente el material metalífero en la vasija, y descargar una corriente de producto que comprende el material metalífero al menos parcialmente reducido de la vasija, y
- 5 proceso que se **caracteriza por**
- (a) establecer y mantener una zona rica en carbono dentro del lecho fluidizado;
- 10 (b) hacer pasar el material metalífero, con inclusión del material metalífero, a lo largo de la zona rica en carbono;
- (c) inyectar el gas que contiene oxígeno en la zona rica en carbono y oxidar el material metalífero, el material sólido carbonoso y otros sólidos y gases oxidables y causar una aglomeración controlada de las partículas; y
- 15 (d) controlar la aglomeración por ajuste de las tasas de alimentación de uno cualquiera o más del material metalífero, el material carbonoso, la temperatura de reacción y el gas que contiene oxígeno.
2. Proceso de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por** suministrar el material metalífero en forma de finos.
3. Proceso de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el material metalífero se encuentra en la forma de finos de mineral de hierro, **caracterizado porque** los finos tienen un tamaño inferior a 6 mm.
- 20 4. Proceso de acuerdo con la reivindicación 2 ó 3, **caracterizado porque** los finos tienen un tamaño medio de partícula comprendido en el intervalo de 0,1 a 0,8 mm.
5. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** suministrar el material metalífero con un tamaño de partícula máximo seleccionado y controlar la aglomeración de tal manera que el 90% de las partículas descargadas del proceso como corriente de producto no exceden del tamaño máximo de alimentación seleccionado.
- 25 6. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** suministrar el material metalífero con un tamaño de partícula máximo seleccionado y controlar la aglomeración de tal modo que no más del 30%, preferiblemente no más del 20%, y de modo más preferible no más del 10% en peso del peso total de las unidades de hierro descargadas del proceso se lleva a cabo en una corriente de gas residual del proceso.
- 30 7. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** inyectar el gas que contiene oxígeno en una región central de la vasija, a saber una región que está localizada hacia el interior de una pared lateral de la vasija.
8. Proceso de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizado por** inyectar el gas que contiene oxígeno de tal manera que existe un flujo descendente del gas en la vasija.
- 35 9. Proceso de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado por** inyectar el gas que contiene oxígeno con un flujo descendente en un intervalo de más o menos 40 grados respecto a la vertical, preferiblemente en un intervalo de más o menos 15 grados respecto a la vertical.
10. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** inyectar el gas que contiene oxígeno por la vía de al menos una lanza que tiene una punta de lanza con una salida posicionada en la vasija interiormente a la pared lateral de la vasija en la región central de la vasija.
- 40 11. Proceso de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado porque** la punta de la lanza está dirigida hacia abajo, de modo más preferible verticalmente hacia abajo.
12. Proceso de acuerdo con la reivindicación 10 ó 11, **caracterizado porque** la posición de la lanza y, más particularmente, la altura de la salida de la punta de la lanza, se determina por referencia a factores tales como la velocidad de inyección del gas que contiene oxígeno, la presión en la vasija, la selección y cantidades de los otros materiales de alimentación a la vasija, y la densidad del lecho fluidizado.
- 45 13. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, **caracterizado por** enfriar con agua la punta de la lanza para minimizar la posibilidad de formación de adherencias en la punta de la lanza que podrían bloquear la inyección del gas que contiene oxígeno.

14. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, **caracterizado por** enfriar con agua una superficie exterior de la lanza.
15. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, **caracterizado por** inyectar el gas que contiene oxígeno a lo largo de un tubo central de la lanza.
- 5 16. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** inyectar el gas que contiene oxígeno con velocidad suficiente para formar una zona sustancialmente exenta de sólidos en la región de la salida de la punta de la lanza para minimizar la formación de adherencias que podían bloquear la inyección del gas que contiene oxígeno.
- 10 17. Proceso de acuerdo con la reivindicación 16, **caracterizado porque** el oxígeno se inyecta con una velocidad comprendida en el intervalo de 50-300 m/s.
18. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** inyectar nitrógeno y/o vapor y/u otro gas de protección adecuado y proteger la región de la salida de la punta de la lanza.
19. Proceso de acuerdo con la reivindicación 18, **caracterizado por** inyectar el gas de protección en la vasija a una velocidad que es al menos 60% de la velocidad del gas que contiene oxígeno.
- 15 20. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** establecer zonas de reacción en un lecho fluidizado y desplazar los sólidos y el gas de fluidización en el interior del lecho de tal modo que los sólidos pasan a lo largo de las zonas de reacción.
21. Proceso de acuerdo con la reivindicación 20, **caracterizado porque** las zonas de reacción pueden ser contiguas.
- 20 22. Proceso de acuerdo con la reivindicación 19 ó 20, **caracterizado porque** una zona de reacción es la zona rica en carbono y porque la otra zona de reacción es una zona rica en metal en la cual un material metalífero, tal como mineral de hierro, se reduce en estado sólido.
23. Proceso de acuerdo con la reivindicación 22, **caracterizado porque** la zona rica en metal está localizada en una sección inferior del lecho fluidizado y la zona rica en carbono está localizada por encima de la zona rica en metal.
- 25 24. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el lecho fluidizado comprende movimiento de sólidos hacia arriba y hacia abajo a lo largo de las zonas.
25. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** suministrar el material metalífero, el material carbonoso, el gas que contiene oxígeno, y el gas de fluidización al lecho fluidizado y mantener el lecho fluidizado con (a) un flujo descendente del gas que contiene oxígeno, (b) un flujo ascendente de sólidos y gas de fluidización en contracorriente con el flujo descendente del gas que contiene oxígeno, y (c) un flujo descendente de sólidos por fuera del lecho ascendente de sólidos y gas de fluidización.
- 30 26. Proceso de acuerdo con la reivindicación 25, **caracterizado porque** los sólidos en los flujos ascendente y descendente de sólidos se calientan por el calor generado por las reacciones entre el gas que contiene oxígeno, el material carbonoso y otros materiales oxidables (tales como CO, materias volátiles, y H₂) en la zona rica en carbono, en donde los sólidos en el flujo descendente de sólidos transfieren calor a la zona rica en metal.
- 35 27. Proceso de acuerdo con la reivindicación 25 ó 26, **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 sólido carbonoso y otros sólidos y gases oxidables en el lecho fluidizado.
- 40 28. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el material carbonoso es carbón.
29. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el gas de fluidización comprende un gas reductor, tal como CO y H₂.
30. Proceso de acuerdo con la reivindicación 29, **caracterizado por** seleccionar la cantidad de H₂ en el gas de fluidización de modo que sea al menos 15% en volumen del volumen total de CO y H₂ en el gas.
- 45 31. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** descargar la corriente de producto que comprende al menos material metalífero parcialmente reducido procedente de la sección inferior de la vasija.
32. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores 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.
- 50

33. Proceso de acuerdo con la reivindicación 32, **caracterizado por** devolver al menos una porción de los otros sólidos a la vasija.
34. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** descargar una corriente de gas residual que contiene sólidos arrastrados de una sección superior de la vasija.
- 5 35. Proceso de acuerdo con la reivindicación 34, **caracterizado por** separar al menos una porción de los sólidos arrastrados de la corriente de gas residual.
36. Proceso de acuerdo con la reivindicación 34 ó 35, **caracterizado por** mantener un lecho fluidizado circulante por separación de sólidos arrastrados procedentes de la corriente del gas residual y devolver al menos una porción de los sólidos separados a la vasija.
- 10 37. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 34 a 36, **caracterizado por** devolver los sólidos separados del gas residual a la sección inferior del lecho fluidizado.
38. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** precalentar el material de alimentación metalífero con el gas residual procedente de la vasija.
- 15 39. Proceso de acuerdo con la reivindicación 38, **caracterizado por** tratar el gas residual después del paso de precalentamiento y devolver al menos una porción del gas residual tratado a la vasija como el gas de fluidización.
40. Proceso de acuerdo con la reivindicación 39, **caracterizado porque** el tratamiento del gas residual comprende uno o más de (a) eliminación de sólidos, (b) enfriamiento, (c) eliminación de H₂O; (d) eliminación de CO₂, (e) compresión, y (f) recalentamiento.
- 20 41. Proceso de acuerdo con la reivindicación 39 ó 40, **caracterizado porque** el tratamiento del gas residual comprende retorno de los sólidos a la vasija.
42. Un proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores con un grado de metalización mayor que 50%, **caracterizado porque** se opera con gas reductor en el gas de fluidización.
43. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el gas que contiene oxígeno comprende al menos 90% en volumen de oxígeno.

