

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 441 728**

51 Int. Cl.:

C21B 13/00 (2006.01)

C21B 13/14 (2006.01)

F27B 15/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.05.2005 E 05741974 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2013 EP 1766099**

54 Título: **Aparato y proceso de reducción directa**

30 Prioridad:

31.05.2004 AU 2004902901

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

06.02.2014

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 2 441 728 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

Aparato y proceso de reducción directa.

5 La presente invención se refiere a un aparato y proceso de reducción directa para un material de alimentación metalífero, particularmente, aunque sin carácter exclusivo, para la reducción directa de 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 reducir parcialmente 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 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.

15 La tecnología CIRCOFER está basada en el uso de lechos fluidizados. Los materiales de alimentación principales para los lechos fluidizados son gas fluidizante, 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 metalizados, es decir óxidos metálicos que han sido reducidos al menos parcialmente.

20 Uno de los descubrimientos de la Solicitante en el proyecto de investigación es que es posible minimizar las adherencias dentro de los lechos fluidizados y particularmente en las lanzas de inyección de gas que contiene oxígeno por posicionamiento de las lanzas a fin de inyectar hacia abajo un gas que contiene oxígeno en los lechos fluidizados.

25 La Patente U.S. 3.753.685 da a conocer un aparato y un proceso según los preámbulos de la reivindicación 1 y 15, respectivamente. El mineral de óxido de hierro peletizado se reduce en un reactor de lecho fluidizado que tiene un lecho fluidizado de dicho mineral y un gas fluidizante de hidrocarburo craqueado en su interior, en donde un gas que contiene oxígeno se introduce a través de un tubo de alimentación que se prolonga verticalmente en el interior del reactor en donde su extremo inferior está sumergido en el lecho fluidizado. La posición horizontal del extremo vertical del tubo de alimentación se ajusta a fin de evitar la sinterización de las partículas del lecho. Los pelets que comprenden minerales de hierro y carbón en forma de polvo fino se alimentan a partir de un orificio de alimentación de materia prima y caen en el lecho fluidizado que está fluidizado por un gas craqueado obtenido por oxidación parcial de un hidrocarburo y alimentado desde abajo en el lecho fluidizado. La lanza vertical de oxígeno es un simple tubo a través del cual se alimenta el oxígeno al lecho fluidizado.

30

35 El documento U.S. 2003/0090044 A1 describe un método y aparato para fundir metal en un horno de cuba en el cual una tobera está posicionada en una pared lateral de un horno de cúpula para proporcionar aire forzado al horno. Una lanza de oxígeno, que se utiliza para proporcionar oxígeno al horno de cúpula, está posicionada dentro de la tobera de aire forzado. El conducto a través del cual pasa el oxígeno se comunica con una boquilla convergente/divergente que imparte una velocidad supersónica a la corriente de oxígeno.

40 La Patente U.S. 4.374.663 da a conocer un método y aparato para reducir un material de óxido de hierro en un lecho fluidizado con el aire de los gases reductores formado por combustión parcial en el lecho de un material carbonoso finamente dividido con un gas que contiene oxígeno molecular, que es suministrado por boquillas que inyectan el gas horizontalmente en el lecho fluidizado. La superficie exterior de las boquillas está enfriada a una temperatura inferior al punto de fusión del metal reducido.

El objeto de la presente invención es reducir la posibilidad formación de adherencias en la punta de la lanza que podrían bloquear la inyección del gas que contiene oxígeno.

45 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un aparato para reducir un material metalífero en un lecho fluidizado que comprende las características de la reivindicación 1.

Preferiblemente, la punta de la lanza está posicionada para inyectar el gas que contiene oxígeno en un flujo descendente en la vasija dentro de un intervalo de más o menos 15 grados respecto a la vertical.

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

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

Preferiblemente, la lanza de inyección del gas que contiene oxígeno está refrigerada por agua.

Preferiblemente, al menos la punta de la lanza comprende una camisa exterior refrigerada por agua.

Preferiblemente, la lanza de inyección del gas que contiene oxígeno comprende un tubo central para el gas que contiene oxígeno.

Preferiblemente, el conducto para inyección del gas de protección es un anillo en sección transversal.

5 Preferiblemente, el conducto es un anillo en sección transversal localizado entre el tubo central y la camisa exterior refrigerada por agua.

Preferiblemente, un extremo inferior del tubo central está rebajado con relación a un extremo inferior de la camisa exterior refrigerada por agua.

Preferiblemente, el tubo central tiene un bisel que se prolonga desde una superficie interna a una superficie externa del tubo.

10 Preferiblemente, la lanza está posicionada de tal manera que la punta de la lanza se encuentra en una región central de la vasija lejos de una pared lateral de la vasija.

15 La posición de la lanza de inyección de gas que contiene oxígeno y, más particularmente, la altura del extremo de salida de la punta de la lanza dentro de la vasija, 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 las otras materias primas a la vasija, y la densidad del lecho fluidizado.

Preferiblemente, la lanza se prolonga hacia abajo a través de una pared superior de la vasija.

Preferiblemente, la lanza se prolonga verticalmente hacia abajo a través de la pared superior de la vasija.

Preferiblemente, la lanza se prolonga a través de la pared lateral de la vasija y luego en dirección descendente.

20 Preferiblemente, la lanza se prolonga horizontalmente a través de la pared lateral de la vasija y luego en dirección descendente.

25 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un proceso para reducir un material metalífero en un lecho fluidizado que comprende las características de la reivindicación 15. 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 la pared lateral de la vasija, por medio de una lanza que tiene una punta de la lanza dirigida hacia abajo posicionada hacia el interior de la pared lateral de la vasija.

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

30 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 punta de la lanza a fin de reducir 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 inyectar el gas que contiene oxígeno con una velocidad comprendida en el intervalo de 50-300 m/s.

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.

35 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 los sólidos y el gas de fluidización en contracorriente con el flujo descendente del gas que contiene oxígeno, y (c) un flujo descendente de los sólidos hacia fuera del flujo ascendente de los sólidos y el gas de fluidización.

40 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 radiaciones entre el gas que contiene oxígeno y el material carbonoso y otros materiales oxidables (tales como CO, materias volátiles y H₂) en una zona rica en carbono. Los sólidos en el flujo descendente de sólidos transfieren calor a una zona rica en metal en una parte inferior de la vasija.

45 En esta memoria se entiende 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 en otras regiones del lecho fluidizado.

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.

Adicionalmente, 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.

5 En el caso de la reducción de material metalífero en forma de finos de mineral de hierro, preferiblemente los finos tienen un tamaño inferior a 6 mm.

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

10 Una de las ventajas del proceso es que el mismo puede aceptar una cantidad sustancial de material de alimentación metalífero con un tamaño de partícula menor que 100 micrómetros sin que una cantidad importante de este material salga del proceso arrastrada en el gas residual. Se cree que ello es debido a un mecanismo de aglomeración que opera en el interior del lecho fluidizado y que promueve un nivel deseable de aglomeración entre las partículas de los materiales de alimentación, particularmente partículas inferiores a 100 micrómetros, sin que parezca promover una aglomeración incontrolada capaz de interrumpir la operación del lecho fluidizado. Análogamente, los minerales desmenuzables que tienen tendencia a fragmentarse durante el procesamiento y aumentar con ello la proporción de partículas en el lecho fluidizado con un tamaño inferior a 100 micrómetros pueden procesarse sin pérdida significativa de material de alimentación en el gas residual del proceso.

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

La corriente de producto comprende también otros sólidos (por ejemplo carbonilla).

20 Preferiblemente, el proceso comprende separar al menos una porción de los otros sólidos de la corriente de producto y devolver los sólidos separados a la vasija.

La corriente de gas residual descargada de la vasija contiene sólidos arrastrados procedentes de la vasija.

Preferiblemente, el proceso comprende separar los sólidos arrastrados de la corriente de gas residual.

Preferiblemente, el proceso comprende mantener un lecho fluidizado circulante y devolver los sólidos arrastrados a una porción inferior de la vasija.

25 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.

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

Preferiblemente, el tratamiento del gas residual comprende devolver sólidos a la vasija.

El proceso puede llevarse a cabo como un proceso en una sola etapa y en una sola vasija.

El proceso puede llevarse a cabo también como un proceso multietápico en dos o más vasijas.

35 Preferiblemente, el proceso multietápico comprende una primera etapa en la cual se genera calor por reacciones entre material sólido carbonoso y gas que contiene oxígeno en un lecho fluidizado en una primera vasija y el material metalífero se reduce en un lecho fluidizado en una segunda vasija, suministrándose calor en parte al segundo lecho fluidizado por una corriente de gas residual caliente y sólidos arrastrados procedentes del primer lecho fluidizado.

Preferiblemente, se suministra también gas que contiene oxígeno a la segunda vasija.

40 Más preferiblemente, la introducción de gas que contiene oxígeno suministrado a la segunda vasija se realiza en condiciones controladas tales que tiene lugar una aglomeración deseable de partículas más pequeñas de mineral reducido con otras partículas de material de alimentación para formar partículas mayores de mineral reducido.

El proceso multietápico arriba descrito separa en parte las funciones de generación de calor y reducción del proceso en dos vasijas separadas y hace posible optimizar cada una de estas funciones.

45 El gas que contiene oxígeno puede ser cualquier gas adecuado.

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

La presente invención se describe ulteriormente con referencia a los dibujos que se adjuntan, de los cuales:

- la Figura 1 es un diagrama de una realización de un aparato para reducción directa de un material de alimentación metalífero según la presente invención;
- la Figura 2 es un diagrama que ilustra la región de la punta de la lanza de la lanza de inyección de gas oxigenado representada en la Figura 1; y
- 5 la Figura 3 es una ilustración esquemática que muestra la región de la punta de la lanza de la Figura 2 con mayor detalle.
- La Figura 4 es un diagrama de otra realización de un aparato para reducción directa de un material de alimentación metalífero según la presente invención.
- 10 La descripción que sigue se hace en el contexto de la reducción directa de un material de alimentación metalífero en la forma de partículas de mineral de hierro en estado sólido. La presente invención no está limitada a ello y se prolonga a la reducción directa de otros materiales que contienen hierro (tales como ilmenita) y de modo más general a otros materiales metalizados.
- 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 oxigenado, y gas residual reciclado como el gas de fluidización.
- 15 La presente invención no debe considerarse limitada en este sentido y se prolonga al uso de cualquier otro material sólido carbonoso, gas oxigenado, o gas de fluidización adecuados.
- Con referencia a la realización del aparato representado en la Figura 1, materiales de alimentación sólidos, a saber finos de mineral de hierro y carbón, oxígeno y gas de fluidización se introducen en una vasija 3 y establecen un lecho fluidizado en la vasija.
- 20 Los materiales de alimentación sólidos son suministrados a la vasija 3 por un dispositivo de suministro de sólidos 5 tal como una alimentación de tornillo o una lanza de inyección de sólidos que se prolonga a través de una pared lateral 7 de la vasija.
- El gas de fluidización se inyecta por una serie de toberas o boquillas (no representadas) en una base 13 de la vasija.
- 25 El oxígeno se inyecta en la vasija por una lanza 9 que tiene una punta de la lanza 11 que se prolonga en dirección descendente con una salida 71 (Figura 2) que está posicionada lejos de la pared lateral 7 de la vasija 3 y dirige el oxígeno en dirección descendente en una región central 31 de la vasija.
- Con referencia a las Figuras 2 y 3, la punta de la lanza 11 (y otras secciones de la lanza 9 que se prolongan en el interior de la vasija 3) comprende un tubo central 73 para oxígeno, una camisa exterior 75 refrigerada por agua, y un conducto 77 que tiene una sección transversal anular para nitrógeno (u otro gas de protección adecuado) entre el tubo central 73 y la camisa exterior 75. Como puede verse mejor en la Figura 3, el tubo central 73 incluye un bisel localizado internamente que se prolonga desde una pared interna del tubo 73 a una pared externa del tubo y termina en una punta de tubo central 174. La punta de tubo central 174 está rebajada con relación a un extremo inferior 176 de la camisa refrigerada por agua 75.
- 30 La posición arriba descrita de la punta de la lanza 11 dentro de la vasija 3 y la construcción de la punta de la lanza 11 están diseñadas para minimizar la formación de adherencias en la punta de la lanza 11 y en particular minimizar las adherencias que se forman en el tubo central 73 que podrían bloquear la salida 71 e interferir por ello con la operación eficiente de la lanza 9.
- 35 Específicamente, el posicionamiento de la punta de la lanza 11 en una región central de la vasija, lejos de la pared lateral 7, minimiza la posibilidad de la formación de adherencias en la punta de la lanza 11 y en la pared lateral 7. Además, el posicionamiento de la punta de la lanza 11 de tal modo que se prolonga en dirección descendente minimiza la posibilidad de que las adherencias se adhieran a la superficie de la punta de la lanza 11. Adicionalmente, la camisa refrigerada por agua 75 mantiene la superficie exterior de la punta de la lanza 11 a una temperatura que minimiza las adherencias que se pegan a la punta de la lanza 11. Adicionalmente, la inyección de la corriente anular del gas de protección minimiza las reacciones entre sólidos y oxígeno que podrían dar como resultado la formación de adherencias en la punta de la lanza. Además, el bisel localizado internamente en el tubo central 73 minimiza la posibilidad de la formación de adherencias en la punta de la lanza. Debe entenderse que el bisel crea una región de baja presión en el interior del tubo central y adyacente a la punta del tubo central 174. Debe entenderse que esta región de baja presión aspira gas de protección a través de la punta del tubo central 174. De este modo, la punta de tubo central 174 está protegida por el gas de protección. Esto impide el contacto de las partículas con la punta del tubo central 174 en presencia de oxígeno. Se cree que el contacto en tales condiciones forma adherencias.
- 40 La superficie exterior de la lanza suele estar también refrigerada por agua a fin de minimizar la formación de adherencias, o puede estar recubierta con refractario.
- 45
- 50

Adicionalmente, la inyección de oxígeno a través del tubo central 73 tiene una velocidad suficiente para formar una zona exenta de partículas en el interior del tubo de oxígeno contribuyendo con ello adicionalmente a minimizar la formación de adherencias. Típicamente el oxígeno se inyecta con una velocidad comprendida en el intervalo de 50-300 m/s.

- 5 La inyección de sólidos y gases arriba descrita produce un flujo ascendente del gas de fluidización y sólidos arrastrados en la región central de la vasija. Crecientemente, a medida que los sólidos se vuelven en dirección ascendente, los sólidos se desprenden de la corriente ascendente del gas de fluidización y fluyen hacia abajo, típicamente en una región anular entre la región central y la pared lateral de la vasija. Finalmente, los sólidos que recirculan en la corriente descendente son arrastrados de nuevo en la corriente ascendente de gas de fluidización o se descargan de la vasija.

La inyección arriba descrita de sólidos y gases produce también las reacciones siguientes en la vasija.

Desvolatilización 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.

- 15 Reducción directa del mineral de hierro a mineral de hierro al menos parcialmente reducido por los productos gaseosos CO y H₂. Esta reacción produce a su vez CO₂ y H₂O.

Reacción de parte del CO₂ formado en el interior del lecho con carbón para formar CO (reacción de Boudouard).

Combustión de la carbonilla, mineral metalizado, materias volátiles del carbón, CO y CH₂ con oxígeno que genera calor que contribuye a mantener las reacciones descritas en los puntos anteriores.

- 20 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 sólidos/gas, dan como resultado la formación de zonas de reacción en la vasija. Estas zonas pueden ser contiguas.

Una zona de reacción es una zona rica en carbono en la región de la punta de la lanza 11 de la lanza 9. En esta zona, las reacciones predominantes son reacciones de oxidación que implican combustión de carbonilla, materias volátiles del carbón, CO, y H₂ con oxígeno, lo cual genera calor.

- 25 Otra zona de reacción es una zona rica en metal en la cual el carbón se desvolatiliza y forma carbonilla y los finos de mineral de hierro son reducidos al menos parcialmente por CO y H₂.

El flujo descendente arriba descrito de los sólidos en la región anular entre la región central y la pared lateral 7 facilita la transmisión de calor desde la zona rica en carbono a la zona rica en metal.

- 30 Adicionalmente, el flujo descendente de los sólidos protege parcialmente la pared lateral 7 de la exposición directa a calor radiante procedente de la región central de la vasija.

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 sólidos del gas residual y retorno de dichos sólidos a la vasija por una rama de retorno de sólidos 29. Después de ello, el gas residual se trata por una serie de pasos de (a) eliminación de sólidos adicionales del gas residual, (b) refrigeración del gas residual, (c) eliminación de agua, (d) eliminación de CO₂, (e) compresión del gas residual remanente, y (f) recalentamiento. El gas residual tratado se devuelve después de ello a la vasija como parte del gas de fluidización.

- 40 El proceso arriba descrito produce una corriente de sólidos, que incluye mineral de hierro al menos parcialmente reducido y carbonilla, que se descarga de la vasija por una salida 25 en la base de la vasija. La corriente de sólidos puede procesarse por separación del mineral de hierro al menos parcialmente reducido y parte de los otros sólidos. Los otros sólidos separados, predominantemente carbonilla, pueden devolverse a la vasija como parte de la alimentación de sólidos al proceso. El mineral de hierro reducido al menos parcialmente se procesa ulteriormente en caso requerido. A modo de ejemplo, el mineral de hierro reducido al menos parcialmente puede suministrarse a una vasija de fusión basada en baño fundido y fundirse para producir hierro fundido, por ejemplo por un proceso tal como el denominado proceso "Hismelt".

Con referencia a la Figura 4, la realización del aparato representado en la figura comprende una primera vasija 103 que contiene un lecho fluidizado de gas y sólidos arrastrados y una segunda vasija 105 que contiene un lecho fluidizado de gas y sólidos arrastrados.

- 50 La primera vasija 103 funciona como un generador de calor y genera una corriente de gas residual caliente que contiene sólidos arrastrados, predominantemente carbonilla, que se transfiere a la segunda vasija 105 por una línea 107. El propósito de la corriente de gas residual caliente es proporcionar al menos parte del calor requerido para las reacciones en la segunda vasija.

ES 2 441 728 T3

La segunda vasija 105 funciona como un reactor de reducción directa y reduce al menos parcialmente finos de mineral de hierro en estado sólido.

La segunda vasija produce dos corrientes de salida.

5 Una corriente de salida, que se descarga de la segunda vasija 105 por una salida 109 en la base de la segunda vasija 105, comprende una corriente predominantemente de sólidos de al menos finos de mineral de hierro parcialmente reducido y sólidos arrastrados, típicamente carbonilla.

10 La corriente de sólidos puede procesarse por separación de los finos de mineral de hierro al menos parcialmente reducido y los otros sólidos. Los otros sólidos, predominantemente carbonilla, pueden devolverse a la primera vasija y/o la segunda vasija como parte de la alimentación de sólidos a las vasijas. Los finos de mineral de hierro al menos parcialmente reducido se procesan ulteriormente en caso requerido. A modo de ejemplo, los finos de mineral de hierro al menos parcialmente reducido pueden suministrarse a una vasija de fusión basada en baño fundido y fundirse a hierro fundido, por ejemplo por un proceso tal como el proceso Hismelt.

La otra corriente de salida de la segunda vasija 105 se descarga por una salida 61 en una sección superior de la segunda vasija 105 y comprende gas residual caliente y sólidos arrastrados.

15 La corriente de gas residual se transfiere a un ciclón 113 por una línea 111. El ciclón 113 separa los sólidos arrastrados de la corriente de gas residual. Los sólidos fluyen hacia abajo desde el ciclón 113 por una línea 115 y a la primera vasija 103 por la rama de retorno 155. La corriente de gas residual y cualesquiera sólidos remanentes fluyen en dirección ascendente desde el ciclón 113 a una cámara de mezcla 117.

20 El gas residual que pasa a la cámara de mezcla 117 desde el ciclón 113 se mezcla con y calienta los sólidos que pasan a la cámara de mezcla 117 desde un ciclón adicional 121 por una línea 123. Una mayor parte de los sólidos son arrastrados desde la cámara de mezcla 117 como parte de una corriente de gas residual de salida.

25 La corriente de gas residual de salida y los sólidos arrastrados procedentes de la cámara de mezcla 117 fluye por una línea 125 a un ciclón adicional 127. Se produce una separación sólidos/gas en el ciclón 127. Los sólidos separados fluyen en dirección descendente desde el ciclón 127 por una línea 129 a la segunda vasija 105. El gas residual separado del ciclón 127 junto con cualesquiera sólidos remanentes fluye en dirección ascendente desde el ciclón 127 a una cámara de mezcla ulterior 131.

30 La corriente de gas residual procedente del ciclón 127 se mezcla con y calienta los finos de mineral de hierro en la cámara de mezcla 131. Los finos de mineral de hierro se suministran a la cámara de mezcla 131 por un ensamblaje de tolva de cierre 133. La mayor parte de la alimentación de mineral de hierro es transportada desde la cámara de mezcla 131 al ciclón 121 por una línea 135. En el ciclón 121 tiene lugar separación de sólidos de tal modo que una mayor parte de los sólidos pasan por la línea 123 a la cámara de mezcla 117. Como se ha descrito anteriormente, desde la cámara de mezcla 117, los sólidos pasan al ciclón 127 por la línea 125. Desde el ciclón 127 la mayor parte de los sólidos pasa a la segunda vasija 105 por una línea 129.

35 El gas residual procedente del ciclón 121 se transfiere por una línea 137 a una unidad de procesamiento del gas residual 139 y se trata en la unidad como se describe más adelante en esta memoria. Específicamente, el gas residual se trata por una serie de pasos que incluyen (a) eliminación de sólidos adicionales del gas residual, (b) refrigeración del gas residual, (c) eliminación de agua, (d) eliminación de CO₂, (e) compresión, y (f) recalentamiento.

40 El gas residual tratado procedente de la unidad de procesamiento del gas residual 139 se convierte en un gas de fluidización para las vasijas 103 y 105. El mismo se transfiere a las vasijas por una línea de transferencia 141. El gas de fluidización se inyecta en la base de cada vasija 103 y 105.

Un carbón con contenido medio-alto de materias volátiles, que tiene un tamaño de partícula inferior a 6 mm se suministra a una sección inferior de la primera vasija 103 por una lanza 143 que se prolonga a través de una pared lateral de la primera vasija 103.

45 Adicionalmente, se suministra oxígeno a la primera vasija 103 por una lanza 145 que tiene la misma construcción básica que la lanza 45 en las Figuras 1, 2 y 3, y dirige oxígeno en dirección descendente en una región central de la primera vasija 103.

Como se ha descrito arriba, los finos de mineral de hierro precalentados se suministran a la segunda vasija 105 por la línea 129 y la corriente de gas residual caliente que contiene sólidos arrastrados procedentes de la primera vasija 103 se suministra a la segunda vasija por la línea 107.

50 Adicionalmente, se suministra oxígeno a la segunda vasija 105 por una lanza 149 que tiene la misma construcción básica que la lanza 9 en las Figuras 1 y 2, que dirige el oxígeno en dirección descendente en una región central de la segunda vasija 105.

La introducción arriba descrita de carbón y gas de fluidización en la primera vasija 103 junto con los sólidos que retornan procedentes de la rama de retorno 115 produce un flujo ascendente de gas de fluidización y sólidos arrastrados en una región central de la primera vasija 103. Crecientemente, a medida que los sólidos se desplazan hacia arriba, se desprenden de la corriente ascendente de gas de fluidización y fluyen típicamente hacia abajo en una región anular entre la región central y la pared lateral de la primera vasija 103. Por último, los sólidos retenidos en la corriente descendente de gas de fluidización son arrastrados de nuevo en la corriente ascendente del gas de fluidización.

5

La corriente ascendente de gas de fluidización y sólidos arrastrados en la región central de la primera vasija 103 se mueve en contracorriente con el flujo descendente de oxígeno gaseoso.

10 En la primera vasija, el carbón se desvolatiliza a carbonilla y materiales volátiles de carbón que se descomponen luego en productos gaseosos tales como H_2 . Al menos parte de la carbonilla y las materias volátiles del carbón descompuestas reaccionan con el oxígeno y forman CO y otros productos de reacción. Estas reacciones generan un calor sustancial y, como se describe anteriormente, el calor es transferido a la segunda vasija 105 por la corriente de gas residual de salida caliente que contiene sólidos arrastrados, que fluye a la segunda vasija por la línea 107.

15 La introducción arriba descrita de los finos de mineral de hierro precalentados, la corriente de gas residual caliente que contiene sólidos arrastrados procedentes de la primera vasija 103, el gas que contiene oxígeno, y el gas de fluidización en la segunda vasija produce un flujo ascendente de gas y sólidos arrastrados en una región central de la segunda vasija 105. Crecientemente, a medida que las partículas sólidas se desplazan hacia arriba, las partículas sólidas se desprenden de la corriente ascendente de gas y fluyen hacia abajo en una región anular entre la región central y la pared lateral de la segunda vasija 105. Finalmente, los sólidos retenidos son, o bien arrastrados de nuevo en la corriente ascendente del gas de fluidización, o se descargan de la vasija por la salida 109.

20

La introducción arriba descrita de los finos de mineral de hierro precalentados, la corriente de gas residual caliente que contiene sólidos arrastrados procedentes de la primera vasija 103, el gas que contiene oxígeno, y el gas de fluidización en la segunda vasija 105 produce la reacciones siguientes en la segunda vasija.

25 Reacción de al menos parte del CO_2 (formado durante la reducción del mineral de hierro) con carbono para formar CO (reacción de Boudouard).

Reducción directa de finos de mineral de hierro a hierro al menos parcialmente reducido por los productos gaseosos CO y H_2 . Estas reacciones producen a su vez CO_2 y H_2O .

30 Oxidación de sólidos y gases, tales como partículas de mineral de hierro parcialmente reducido, carbonilla, H_2 y CO, en una sección superior de la segunda vasija 105, que genera calor y promueve una aglomeración controlada de partículas más pequeñas de mineral parcialmente reducido con otras partículas en el interior del lecho fluidizado.

La Solicitante no tiene una comprensión totalmente clara en esta etapa del mecanismo o mecanismos que permiten que se consiga una aglomeración controlada de material metalífero descrito en el último punto anterior. No obstante, sin desear quedar ligados por los comentarios siguientes, en el proyecto de investigación la Solicitante observó que los aglomerados que se formaban comprenden partículas más pequeñas, particularmente finos que se adhieren unos a otros y a partículas mayores. La Solicitante especula que las condiciones en la zona rica en carbono son tales que (a) las partículas de mineral de hierro de tamaño micrométrico reducidas parcial y completamente, 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 la ceniza resultante se vuelve adherente; 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 mayor capacidad de disipación de calor, con el resultado beneficioso 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 fuera de la vasija en una corriente de gas residual.

35

40

45 Como se ha indicado arriba, la presente invención se realizó durante el curso de un proyecto de investigación continuo 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.

50 La discusión que sigue está enfocada en el trabajo de investigación en la planta piloto con la vasija de 700 mm de diámetro.

La planta piloto comprende un aparato del tipo representado en las Figuras 1 y 2. La planta piloto se hizo trabajar 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 interno de 500 mm. La 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 de refractario.

55

El gas residual procedente de la vasija se procesó para eliminar los sólidos arrastrados haciendo pasar el gas residual sucesivamente a través 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 pasando por un calderín de estanqueidad que proporcionaba el cierre de presión. El segundo ciclón (ciclón 2) recibía gas residual del ciclón 1.
 5 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.

Después de la separación de sólidos por los tres ciclones, el gas residual se trató ulteriormente por un lavador de flujo radial, que eliminaba adicionalmente sólidos del gas residual. Estos sólidos se concentraron por un espesador y se pasaron luego a través de un filtro de tambor para producir un lodo del espesador.
 10

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

El lecho fluidizado estaba fluidizado por aire durante las etapas iniciales de la prueba y se fluidizó posteriormente por una mezcla de nitrógeno e hidrógeno gaseosos. Dado que no había provisiones para procesamiento y reciclaje del gas residual del proceso, v.g. separación y compresión de CO₂, no fue posible que el mismo retornara a la vasija como gas de fluidización. A este respecto, se utilizó hidrógeno gaseoso para simular el efecto de utilización de gas residual procesado como gas de fluidización.
 15

En suma, el trabajo de investigación demostró lo siguiente:

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

La inyección de oxígeno en o próximo a un lecho fluidizado con hasta 42% de hierro metálico en el lecho parece ser factible sin la formación de adherencias.

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

La posición de la lanza de oxígeno en la vasija es importante debido a la conveniencia deseable de la transmisión del calor de oxidación de nuevo al lecho sin minimizar el nivel de la reoxidación del hierro. La posición 4-m es aproximadamente correcta para las condiciones testadas.

30 El mineral de hierro Brockman, rico en fósforo se fluidizaba y reducía con éxito sin producción excesiva de polvo. (El mineral Brockman es un mineral de hierro desmenuzable de Australia Occidental, puesto a disposición por Hamerslet Iron Pty Ltd, Perth, Australia Occidental.)

Objetivos del programa experimental:

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

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

40 Puesta en marcha:

La campaña comenzó 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 a 105 Nm³/hora, mientras que la tasa de carbón estaba comprendida en el intervalo de 300-450 kg/h.
 45

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

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

Las condiciones estándar de la operación durante este periodo eran como sigue.

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

ES 2 441 728 T3

Caudal del 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

Caudal del gas de protección N₂: 30 Nm³/h

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

Un resumen de los resultados es como sigue:

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

Descarga del ciclón 3: 10-14 kg/h

Análisis del gas residual

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

10

El producto de descarga era limpio con sólo algunos pequeños fragmentos de +2 mm que tenían aspecto de material refractario residual. La producción de polvo era razonablemente baja, con < 10% de la descarga referido a la descarga del ciclón final. Operación con mineral de hierro (10-140 kg/h), carbón y oxígeno (altura de lanza de 2 m) 10/12/03-12/12/03

15 10/12/03 2200-11/12/03 0600: Mineral de hierro a 10 kg/h

Se introdujo mineral de hierro (< 3 mm) en el sistema de alimentación a las 22:00 en 10/12/03 a una tasa de 10 kg/h. Se introdujo también hidrógeno en el gas de fluidización a una tasa de 20 Nm³/h para simular el uso de gas residual procesado como gas de fluidización. La operación era uniforme, manteniéndose el 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.

20

El producto tenía un aspecto fino sin signo alguno de adherencias o aglomerados. No obstante, en el cribado del producto (a 2 mm) se encontró algo de material de tipo de escamas más grandes, pero esto era sólo una proporción muy pequeña del producto total. Las escamas parecían estar constituidas por ceniza/carbonilla y se formaban probablemente en las paredes de la vasija o la placa distribuidora en la vasija.

25 Las condiciones y resultados estándar de la operación durante este periodo eran como sigue:

Temperatura de 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

Caudal de oxígeno: 100-115 Nm³/h

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

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

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

Un resumen de los resultados es como sigue:

Tasa de descarga del lecho: 125 kg/h

35 Descarga del ciclón tres: 15 kg/h

Análisis del gas residual

CO/CO ₂	10,3/9,7 = 1,06
--------------------	-----------------

ES 2 441 728 T3

% H ₂	9,2
% CH ₄	2,0

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

5 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 siguió manteniéndose a aproximadamente 80-100 mbar, y el perfil de temperatura tenía un intervalo de sólo 10°C entre el fondo y la parte superior de la vasija.

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

10 Las condiciones y resultados estándar de la operación durante este periodo eran 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

Caída de presión en la CFB: 80-100 mbar

Caudal de oxígeno: 112 Nm³/h

15 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

Un resumen de los resultados es como sigue:

Tasa de descarga del lecho: 125 kg/h

20 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

Análisis del 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			

25 11/12/03 1200-12/12/03 0600: Mineral de hierro a 40 kg/h

Sumario:

30 La tasa de alimentación de mineral de hierro se aumentó hasta 40 kg/h a las 1200 en fecha 11/12/03 y se hizo funcionar 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). El ΔP del lecho de la vasija se mantenía a aproximadamente 90-135 mbar y el perfil de temperatura tenía un intervalo menor que 10°C entre el fondo y la parte superior del lecho.

ES 2 441 728 T3

Resultados

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

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

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

5 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

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

Un resumen 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

15

Análisis del producto: (11/12/03)

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

20

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 que 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.

25

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

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 suma, la lanza estaba limpia. El tubo refrigerado por agua, así como la punta de la boquilla no exhibían evidencia alguna de acumulación de material.

- 5 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) 0600-1200: Mineral de Hierro a 110 kg/h

- 10 Sumario:

La tasa de alimentación de mineral de hierro se incrementó gradualmente hasta 110 kg/h a las 0625 y se operó con esta tasa hasta las 1200, 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%.

- 15 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.

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

- 20 Resultados:

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

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)

- 25 Caudal de gas de fluidización en la CFP: 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

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

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

Un sumario de los resultados es como sigue:

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

- 35

Análisis del producto: (13/12/03)

		Masa %	Fe(T)	Fe ²⁺	Fe ⁰	%Met.
1200	Magnético	37,8	76,42	14,98	59,33	77,6

	No magnético	62,2	2,66			
--	--------------	------	------	--	--	--

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

5 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.

10 13/12/03 1200-16/12/03 0500: Mineral de Hierro a 120-200 mg/h

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 operaba a aproximadamente 230 kg/h de alimentación de mineral de hierro.

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 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 el intervalo de perfil de la temperatura había aumentado ahora a aproximadamente 20°C entre el fondo y la parte superior del lecho.

La operación de la vasija a la tasa de alimentación del mineral de hierro más alta de 200 kg/h aumentaba el intervalo 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 de alimentación de mineral de hierro mayores, pero se mantenían todavía dentro del intervalo de metalización de 60-80%.

25 Resultados:

La apariencia del producto continuaba siendo satisfactoria, sin signo alguno de adherencias o aglomerados.

Las condiciones de la operación estándar y los resultados durante este periodo eran 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

30 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

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

35 Tasa de Alimentación de Carbón: 380 kg/h

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

Un sumario de los resultados es como sigue:

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

Descarga del ciclón 3: 18-24 kg/h

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

CO/CO ₂	11/10,4 = 1,06
% H ₂	16,5

ES 2 441 728 T3

% CH ₄	1,4
-------------------	-----

Análisis del producto: (13-15/12/03)

		Masa %	C(T)	Fe(T)	Fe ²⁺	Fe ^o	% Met.
1700	Magnético	40,2	-	75,55	22,1	51,37	68,0
13/12/03	No magnético	59,8	-	8,11			
2000	Magnético	54,2	1,8	78,35	15,33	61,18	78,1
13/12/03	No magnético	45,8	80,3	5,03			
1700	Descarga del ciclón 3			12,89	2,73	2,47	19,2
13/12/03							
2000	Descarga del ciclón 3			15,74	3,12	6,67	42,4
13/12/03							
0200	Magnético	51,3	-	78,85	19,6	58,87	74,7
15/12/03	No magnético	48,7	-	7,29			
0500	Magnético	57,2	-	77,44	17,27	57,65	74,4
15/12/03	No magnético	42,8	-	4,55			
0700	Magnético	62,8	0,9	76,93	17,38	58,43	75,9
15/12/03	No magnético	37,2	72,5	11,25			
0200	Descarga del ciclón 3			20,29	7,77	5,38	26,5
15/12/03							
0500	Descarga del ciclón 3			21,73	7,69	6,28	28,9
15/12/03							
12:00	Magnético	59,2	-	76,9	18,1	56,6	73,6
15/12/03	No magnético	40,8	-	31,0	4,7	22,0	70,9
16:00	Magnético	62,7	1,9	73,6	32,5	36,0	48,9
15/12/03	No magnético	37,3	53,6	27,6	8,4	13,2	48,0
22:00	Magnético	59,6	-	71,5	28,0	39,0	54,5
15/12/03	No magnético	40,4	-	20,4	3,9	11,0	54,0
02:00	Magnético	53,3	-	74,1	26,8	43,5	58,7
16/12/03	No magnético	46,7	-	13,7	3,7	2,8	20,1
04:00	Magnético	62,7	1,6	74,4	29,5	40,0	53,8
16/12/03	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 con relación 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 través de los
- 10 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 de alimentación de mineral de hierro más altas. 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)

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 refrigerado por agua tenía un recubrimiento delgado de material, mientras que la punta de la tobera estaba relativamente limpia. La naturaleza de la acumulación (escamosa y fina) sugería que esto no podría conducir a ningún problema operativo.

5 Distribución y Aglomeración del Hierro

10 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 lodo más grueso. Debido a la naturaleza desmenuzable del Mineral Brockmam, se esperaba que se produjeran finos adicionales durante el procesamiento. Por tanto, se esperaba que el porcentaje de unidades de hierro que salían del sistema a través del ciclón 3 excediera de 10,6%.

15 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.

Pueden realizarse muchas modificaciones a las realizaciones de la presente invención representadas en las Figuras 1 a 4, sin desviarse del espíritu y alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para reducir un material metálico en un lecho fluidizado que comprende una vasija de contención de lecho fluidizado, un medio para suministrar el material metálico, un material sólido carbonoso, un gas que contiene oxígeno, y un gas de fluidización en la vasija para formar el lecho fluidizado en la vasija, en donde el medio de suministro del gas que contiene oxígeno comprende al menos una lanza de inyección de gas que contiene oxígeno que tiene una punta de la lanza con una salida que está posicionada para inyectar el gas que contiene oxígeno en un flujo descendente en la vasija dentro de un intervalo de más o menos 40 grados respecto a la vertical, **caracterizado porque** la lanza de inyección de gas que contiene oxígeno comprende un tubo central para el gas que contiene oxígeno y un conducto localizado fuera del tubo central para inyección de un gas de protección.
2. Aparato según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la punta de la lanza está posicionada para inyectar el gas que contiene oxígeno en un flujo descendente en la vasija dentro de un intervalo de más o menos 15 grados respecto a la vertical.
3. Aparato según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado porque** la punta de la lanza está dirigida hacia abajo.
4. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la lanza de inyección del gas que contiene oxígeno está refrigerada por agua.
5. Aparato según la reivindicación 4, **caracterizado porque** al menos la punta de la lanza comprende una camisa exterior refrigerada por agua.
6. Aparato según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el conducto para inyección del gas de protección es un anillo en sección transversal.
7. Aparato según la reivindicación 6, **caracterizado porque** el anillo en sección transversal está localizado entre el tubo central y la camisa exterior refrigerada por agua.
8. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** un extremo inferior del tubo central está rebajado con relación a un extremo inferior de la camisa exterior refrigerada por agua.
9. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, **caracterizado porque** el tubo central tiene un bisel que se prolonga desde una superficie interior a una superficie exterior del tubo.
10. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la lanza está posicionada de tal manera que la punta de la lanza está situada en una región central de la vasija lejos de una pared lateral de la vasija.
11. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la lanza se prolonga hacia abajo a través de una pared superior de la vasija.
12. Aparato según la reivindicación 11, **caracterizado porque** la lanza se prolonga verticalmente hacia abajo a través de la pared superior de la vasija.
13. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado porque** la lanza se prolonga a través de la pared lateral de la vasija y luego en dirección descendente.
14. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado porque** la lanza se prolonga horizontalmente a través de la pared lateral de la vasija y luego en dirección descendente.
15. Proceso para reducir un material metálico en un lecho fluidizado en una vasija que comprende suministrar un material metálico, un material sólido carbonoso, un gas que contiene oxígeno, y un gas de fluidización al lecho fluidizado y mantener el lecho fluidizado en la vasija, reducir al menos parcialmente el material metálico en la vasija, y descargar de la vasija una corriente de producto que comprende el material metálico al menos parcialmente reducido y una corriente de gas residual separada, e inyectar el gas que contiene oxígeno en la vasija con un flujo descendente en un intervalo de más o menos 40 grados respecto a la vertical por la vía de una o más de una lanza, **caracterizado porque** el proceso comprende inyectar nitrógeno y/o vapor y/u otro gas de protección adecuado y proteger un extremo inferior de la punta de la lanza.
16. Proceso según la reivindicación 15, **caracterizado porque** el proceso comprende inyectar el gas que contiene oxígeno en una región central de la vasija por medio de una lanza que tiene una punta de la lanza dirigida hacia abajo posicionada hacia el interior de la pared lateral de la vasija.
17. Proceso según la reivindicación 16, **caracterizado porque** el proceso comprende refrigerar con agua la punta de la lanza.

18. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 17, **caracterizado porque** 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 punta de la lanza.
- 5 19. Proceso según la reivindicación 18, **caracterizado por** inyectar el gas que contiene oxígeno con una velocidad comprendida en el intervalo de 50-300 m/s.
20. Proceso según la reivindicación 15, **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.
- 10 21. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 20, **caracterizado por** suministrar el material metálico, 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 sólidos hacia fuera del flujo ascendente de sólidos y gas de fluidización.
22. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 21, **caracterizado por** reducir finos de mineral de hierro de tamaño inferior a 6 mm.
- 15 23. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 22, **caracterizado porque** los finos tienen un tamaño medio de partícula en el intervalo de 0,1 a 0,8 mm.
24. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 23, **caracterizado por** descargar la corriente de producto que comprende material metálico al menos parcialmente reducido de la sección inferior de la vasija.
- 20 25. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 24, en el que la corriente del producto comprende también otros sólidos, **caracterizado porque** el proceso comprende separar al menos una porción de los otros sólidos de la corriente de producto y devolver los sólidos separados a la vasija.
26. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 25, **caracterizado por** separar los sólidos arrastrados de la corriente de gas residual.
- 25 27. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 26, **caracterizado por** mantener un lecho fluidizado circulante y devolver los sólidos arrastrados a una porción inferior de la vasija.
28. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 27, **caracterizado por** precalentar el material de alimentación metálico con el gas residual procedente de la vasija.
- 30 29. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 28, **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.
- 30 30. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 29, **caracterizado porque** el tratamiento del gas residual comprende uno o más de (a) eliminación de sólidos, (b) refrigeración, (c) eliminación de H₂O, (d) eliminación de CO₂, (e) compresión, y (f) recalentamiento.
- 35 31. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 30, **caracterizado porque** el tratamiento del gas residual comprende devolver sólidos a la vasija.
32. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 31, **caracterizado porque** se lleva a cabo como un proceso en una sola etapa y en una sola vasija.
33. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 31, **caracterizado porque** se lleva a cabo como un proceso multietápico en dos o más vasijas.
- 40 34. Proceso según la reivindicación 33, **caracterizado porque** el proceso multietápico comprende una primera etapa en la cual se genera calor por reacciones entre un material sólido carbonoso y un gas que contiene oxígeno en un lecho fluidizado en una primera vasija y el material metálico se reduce en un lecho fluidizado en una segunda vasija, suministrándose calor en parte al segundo lecho fluidizado por la vía de una corriente de gas residual caliente y sólidos arrastrados procedentes del primer lecho fluidizado.
- 45 35. Proceso según la reivindicación 33 ó 34, **caracterizado porque** se suministra también gas que contiene oxígeno a la segunda vasija.
- 50 36. Proceso según la reivindicación 35, **caracterizado porque** la introducción del gas que contiene oxígeno suministrado a la segunda vasija se realiza en posiciones controladas tales que tiene lugar una aglomeración deseable de partículas de mineral reducido más pequeñas con otras partículas de material de alimentación para formar partículas de mineral reducido de mayor tamaño.

37. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 36, **caracterizado porque** el gas que contiene oxígeno comprende al menos 90% en volumen de oxígeno.

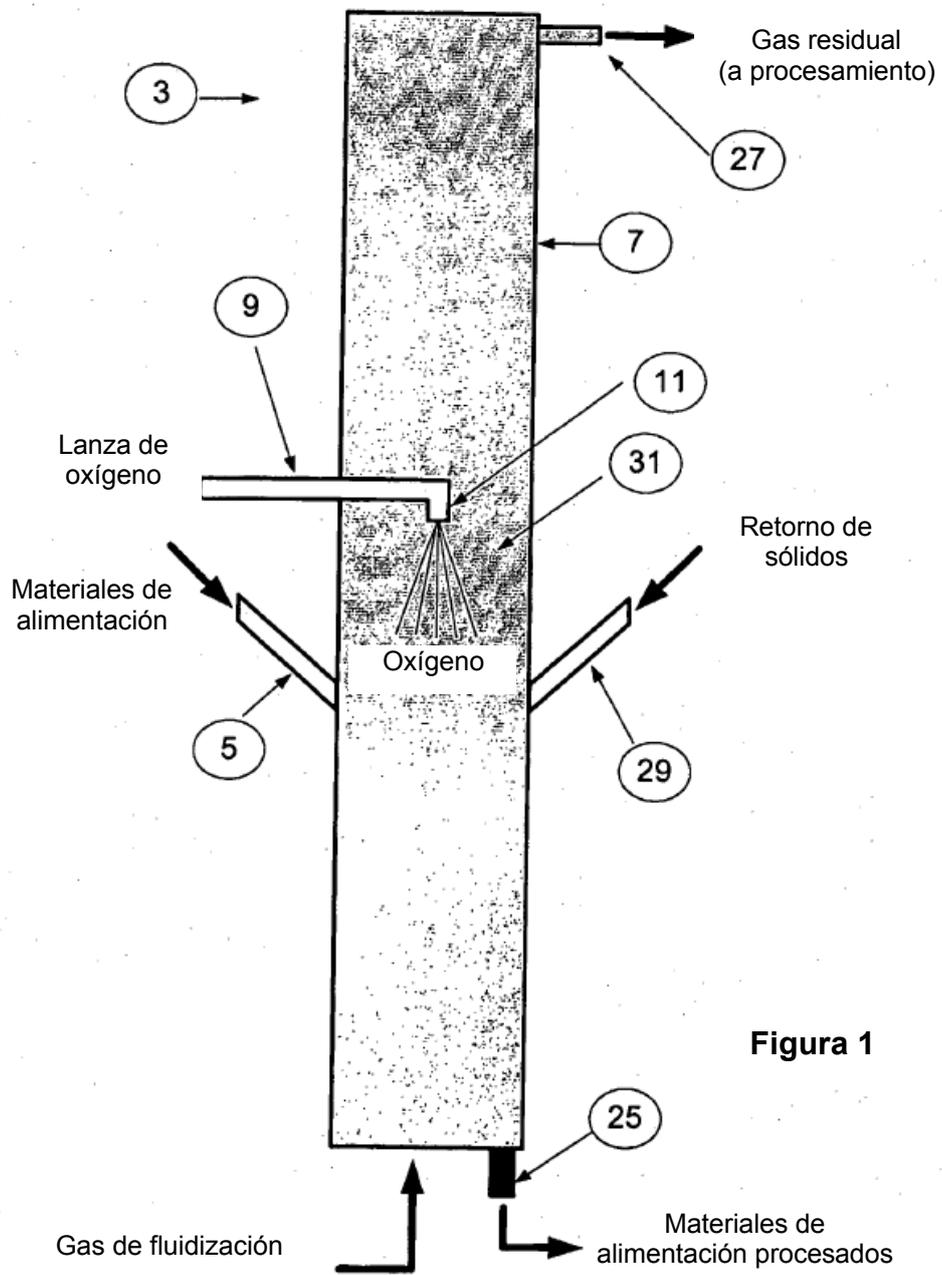
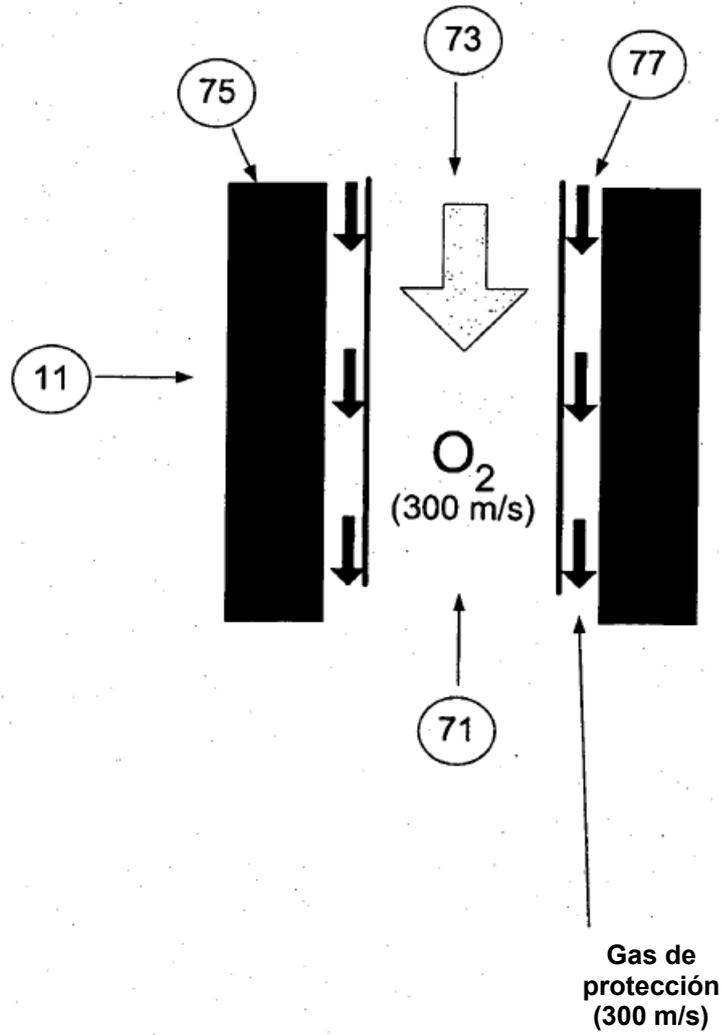


Figura 1

Figura 2



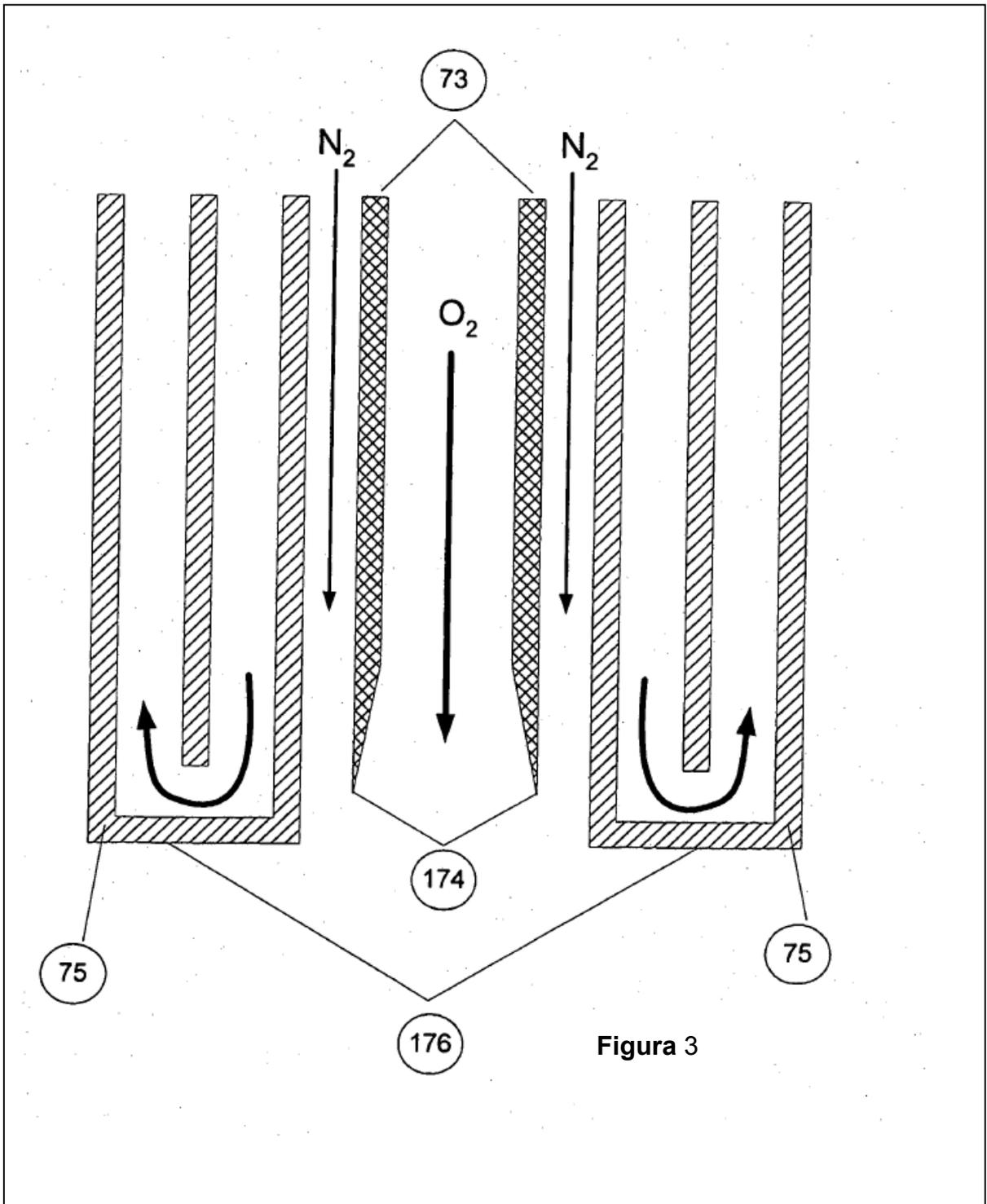


Figura 3

