

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 026 670**

51 Int. Cl.:

**C21B 11/10** (2006.01)

**C21B 13/00** (2006.01)

**C21B 13/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.05.2020 PCT/IB2020/054424**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.11.2020 WO20229994**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.05.2020 E 20725946 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.04.2025 EP 3966353**

54 Título: **Proceso para la fundición de un material de alimentación metálfero**

30 Prioridad:  
**10.05.2019 NL 2023109**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**11.06.2025**

73 Titular/es:  
**AFRICAN RAINBOW MINERALS LIMITED  
(100.00%)  
24 Impala Road, Chislehurst Sandton  
2196 Johannesburg, ZA**

72 Inventor/es:  
**BOUWER, PETRUS HENDRIK FERREIRA**

74 Agente/Representante:  
**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 3 026 670 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 para la fundición de un material de alimentación metalífero

Campo de la invención

La presente invención se relaciona con un proceso para la fundición de un material de alimentación metalífero.

5 Antecedentes de la invención

Los procesos de reducción directa han adquirido cada vez mayor importancia en los últimos años. La reducción directa indica un proceso mediante el cual los óxidos metálicos del mineral, como material de alimentación, se reducen mientras el mineral todavía está en estado sólido. En los procesos convencionales, los óxidos metálicos reducidos se transfieren del proceso de reducción directa a un proceso de fundición posterior en donde los óxidos metálicos reducidos se metalizan, siendo la fundición la reducción y fusión de la alimentación.

Se apreciará que los óxidos metálicos reducidos se enfriarán significativamente mientras se transfieren del proceso de reducción directa al proceso de fundición. El enfriamiento antes mencionado de los óxidos metálicos reducidos produce pérdidas de energía significativas, ya que dichos óxidos tendrían que recalentarse durante el proceso de fundición.

15 Una desventaja adicional asociada con los procesos de reducción directa convencionales y los equipos de proceso es que un producto reducido directamente solo se puede manipular si el mismo permanece en el estado sólido.

La Patente de Estados Unidos número 3,033,673 titulado "Process of reducing iron oxides" divulga un proceso de reducción directa mediante el cual un óxido de hierro metálico en un aglomerado se reduce en el estado sólido. Este proceso de reducción en estado sólido ocurre en el horno de cuba divulgado en la patente. La patente continúa previendo que el óxido metálico parcialmente reducido sea fundido (es decir, se derrita) en un horno eléctrico. En otras palabras, ni los aglomerados ni los óxidos metálicos contenidos en los aglomerados se fusionan en el horno de cuba. El documento US 3 033 673 A describe la prerreducción y calentamiento de pellas de mineral de hierro que luego se transfieren mientras aún están calientes a un horno eléctrico para su reducción y fundición final.

La fusión de los óxidos metálicos provoca, entre otras cosas, bloqueos de los equipos, reducción de la transferencia de energía y una disminución de la eficiencia del proceso (es decir, reducción).

Esta desventaja se ejemplifica en los procesos a escala comercial conocidos. El primer ejemplo es la tecnología de reducción directa desarrollada por Showa Denko para la reducción directa de mineral de cromo en hornos rotativos a temperaturas de hasta 1400 ° C. Esta limitación de temperatura en el proceso garantiza que se evite la acumulación de fase líquida en el horno; de lo contrario, el proceso se detendrá. En el proceso Showa Denko, el producto reducido directamente debe dejarse enfriar para permitir la transferencia mecánica a un horno de fundición eléctrico final, durante el cual la temperatura del producto desciende típicamente a 600 ° C.

Como ejemplo adicional, Kobe Steel y Midrex desarrollaron un proceso FastSmelt donde los aglomerados compuestos de mineral de hierro pueden reducirse directamente en un horno de solera rotativo haciendo uso de carbón pulverizado quemado. Los aglomerados en el proceso FastSmelt deben permanecer nuevamente en el estado sólido para poder ser eliminados de la chimenea rotativa.

El siguiente desarrollo de Kobe Steel y Midrex fue el proceso ITMK3 mediante el cual se permite que se formen pepitas de hierro dentro de los aglomerados a temperaturas de operación más altas, pero persiste la misma limitación en cuanto a que los aglomerados deben permanecer en estado sólido para permitir su extracción de la chimenea rotativa. Las pepitas se fusionan luego en un proceso posterior después de enfriarse y ser transferidas desde la chimenea rotativa, lo que produce importantes pérdidas de energía. Este desarrollo no ha sido un éxito comercial debido a problemas del equipo.

Además de las desventajas mencionadas anteriormente, debe apreciarse que una desventaja adicional en los procesos conocidos es que la temperatura requerida para permitir que los óxidos metálicos se metalicen no se puede controlar de manera efectiva. Esto se debe a que para que los procesos funcionen es necesario crear zonas de temperatura muy elevadas. Ejemplos de tales procesos a escala comercial conocidos son los hornos de arco sumergido y los altos hornos, y estos son los únicos procesos utilizados comercialmente hasta la fecha para producir aleaciones como ferromanganeso y ferrocromo. La falta de un control efectivo de la temperatura en estos procesos hace que en estas zonas de alta temperatura se reduzcan las impurezas de la aleación del producto, como Si, Mn y S, impurezas que actúan contaminando el producto final.

La Patente de Estados Unidos número 3,832,158 "Process for producing metal from metal oxide pellets in a cupola type vessel" es conocida por el solicitante. Esta patente describe un proceso mediante el cual se funden (es decir se derriten) aglomerados que contienen un óxido metálico utilizando el calor generado durante la

combustión de un lecho de coque. Es bien conocido que el coque es extremadamente costoso y a menudo hace que la fundición a gran escala de óxidos metálicos sea menos competitiva.

Objeto de la invención

5 Por consiguiente, un objeto de la presente invención es proporcionar un nuevo proceso para la fundición de un material de alimentación metalífero que supere, al menos parcialmente, las desventajas mencionadas anteriormente y/o que sea una alternativa útil a los procesos existentes para la fundición de un material de alimentación metalífero al tiempo que permita la manipulación de productos reducidos en el estado fundido.

Resumen de la invención

10 De acuerdo con la invención, se proporciona un proceso para la fundición de un material de alimentación metalífero, incluyendo el proceso las etapas de acuerdo con la reivindicación 1 independiente.

En el contexto actual, se hace referencia a fino en relación con el tamaño de partícula, es decir, un tamaño de partícula menor o igual a 6 mm, pero preferiblemente menor a 75  $\mu\text{m}$ .

15 El proceso puede incluir la etapa adicional de agregar energía eléctrica al material fundido en el recipiente para reducir aún más el componente metalífero parcialmente reducido para formar un producto de metal líquido optimizado y un producto de escoria final, donde el componente reductor no reaccionado arrastrado en el material fundido sirve como agente reductor. De esta manera se puede obtener un alto grado de metalización del constituyente metalífero parcialmente reducido. El grado de metalización del material de alimentación metalífero en el proceso puede ser de hasta el 98 %. El componente reductor no reaccionado arrastrado en la escoria permite una reducción mucho mayor del componente metalífero en comparación con los procesos de fundición convencionales.

20 La adición de energía eléctrica al material fundido se puede controlar para ajustar la temperatura del material fundido para formar el producto de metal líquido optimizado y el producto de escoria final, siendo el producto de metal líquido optimizado y el producto de escoria final adecuados para ser extraídos del recipiente.

25 El componente reductor no reaccionado arrastrado en el material fundido puede permitir la reducción completa del componente metalífero parcialmente reducido presente en el material fundido.

La composición de los aglomerados se puede manipular para reducir la temperatura de fusión de los aglomerados en el lecho empacado para así aumentar la tasa de fusión de los aglomerados y disminuir el grado de reducción del material de alimentación metalífero fino.

30 La composición de los aglomerados se puede manipular para aumentar la temperatura de fusión de los aglomerados en el lecho empacado para así disminuir la tasa de fusión de los aglomerados y aumentar el grado de reducción del material de alimentación metalífero fino.

El gas caliente debe ser un gas reductor con una proporción CO/CO<sub>2</sub> mayor de 5 y preferiblemente mayor de 10 para evitar la reoxidación del componente metalífero.

35 El gas reductor caliente pasa a través del lecho empacado a una temperatura superior a 1200 ° C, preferiblemente superior a 1350 ° C y, más preferiblemente, superior a 1600 ° C, dependiendo la temperatura del producto metálico que se esté produciendo.

40 El lecho empacado puede incluir una interface permeable a fluidos en una posición operativa corriente abajo con respecto a una región en donde el aglomerado se alimenta al reactor, la interface permeable a fluidos permite que el gas reductor caliente pase a través de esta y a través del lecho empacado de aglomerados. La interface permeable al fluido puede ser una región de base operativa del lecho empacado en el reactor.

El lecho empacado puede estar suspendido por las paredes laterales del reactor en una posición en la que cambia la dirección de las paredes laterales.

45 Como alternativa, el lecho empacado puede estar suspendido por una obstrucción ubicada en el reactor, estando la obstrucción en una posición operativa corriente abajo con respecto a la región donde el aglomerado se alimenta al reactor. La obstrucción puede ser un lecho permeable de refractarios. Alternativamente, la obstrucción puede ser un lecho permeable de partículas de coque.

El aglomerado puede incluir un fundente. Se puede alimentar un fundente junto con los aglomerados, pero por separado, al reactor.

El aglomerado puede incluir un agente aglomerante.

50 Se prevé que el proceso incluya la etapa adicional de añadir reductor adicional al material fundido en el recipiente.

Se prevé que la energía eléctrica se añada al material fundido a través de electrodos en el recipiente que están sumergidos en el material fundido.

5 El producto de metal líquido optimizado y el producto de escoria final se pueden formar a través de una reacción electroquímica entre el componente metalífero parcialmente reducido y el componente reductor arrastrado que no ha reaccionado en el material fundido, sirviendo el componente de escoria intermedio como electrolito. De esta manera, se puede lograr un grado muy alto de metalización del material de alimentación metalífero, tal como óxidos metálicos, en comparación con los procesos de la técnica anterior conocidos, en donde el grado de metalización logrado a través del proceso de la presente invención puede ser de hasta 98 %.

10 El tiempo de residencia del material de alimentación metalífero en el lecho empacado de aglomerados se puede controlar para incidir en el grado de reducción del material de alimentación metalífero en el reactor.

Las temperaturas de operación en el reactor y el recipiente se pueden controlar para metalizar selectivamente un primer metal objetivo en el material de alimentación metalífero, permitiendo así que el primer metal objetivo metalizado se reporte al producto de metal líquido optimizado y que los metales no objetivo se reporten al producto de escoria final.

15 Se prevé que el producto de escoria final se proporcione como material de alimentación metalífero en un proceso posterior, siendo el proceso posterior un proceso de acuerdo con la invención, y en donde las temperaturas de operación en el reactor y el recipiente en el proceso posterior se controlan para metalizar selectivamente un segundo metal objetivo en el material de alimentación metalífero, permitiendo de este modo que el segundo metal objetivo metalizado se reporte al producto de metal líquido del proceso posterior y que  
20 los metales no objetivo restantes se reporten al producto de escoria final del proceso posterior.

El producto de escoria final generado puede transferirse para su posterior procesamiento.

La temperatura del gas reductor caliente se puede fijar a una temperatura objetivo.

La entrada de energía eléctrica se puede controlar para lograr un producto de metal líquido y una temperatura final de escoria objetivo.

25 Breve descripción del dibujo

A continuación, se describe una realización de la invención, a modo de ejemplo únicamente no limitativo y con referencia al dibujo adjunto en el que:

La figura 1 es un diagrama esquemático del proceso de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

30 Con referencia al dibujo adjunto, en el que números similares se refieren a características similares, un proceso para la fundición de un material de alimentación metalífero de acuerdo con la invención se designa generalmente con el número de referencia 10.

El proceso para la fundición de un material 10 de alimentación metalífero incluye las etapas según la reivindicación independiente 1.

35 Normalmente, el material de alimentación metalífero es un óxido metálico extraído. Sin embargo, el material de alimentación metalífero puede ser cualquier material que contenga un óxido metálico.

40 El aglomerado se alimenta gravitacionalmente al reactor 12 para formar un lecho 14 fluido empacado permeable de aglomerados. El lecho 14 de aglomerados se apila entre 2 y 3 metros de altura en el reactor 12. Lo ideal es que el aglomerado tenga un diámetro de entre 10 mm y 20 mm, pero el proceso 10 puede aceptar aglomerados con un diámetro de entre 2 mm y 80 mm e incluso más. Una ventaja del procedimiento 10, debido, entre otras cosas, a la baja altura del lecho 14 empacado en el reactor 12, es que se pueden utilizar aglomerados con una resistencia limitada y, por lo tanto, con un contenido de aglomerante limitado o nulo. El material de alimentación metalífero se dispersa dentro del aglomerado y es preferiblemente un material fino que tiene un tamaño de partícula de menos de 75  $\mu\text{m}$ . Se apreciará que los aglomerados pueden incluir un  
45 aglomerante o agente aglomerante, y el uso o desuso del aglomerante o agente aglomerante dependerá del tamaño del aglomerado utilizado en el proceso 10 y/o de la altura a la que se apila el lecho 14 empacado de aglomerados en el reactor 12. Además, el aglomerado puede incluir un fundente o agente fundente.

50 En este ejemplo, los aglomerados en el lecho 14 empacado se funden haciendo pasar un gas reductor caliente (no mostrado) a través de ellos en contracorriente. El gas reductor caliente se alimenta al reactor 12 en una posición 20 operativa corriente abajo del lecho 14 empacado de aglomerados y en contracorriente a la dirección en la que los aglomerados se alimentan al reactor 12. El gas reductor caliente se alimenta al reactor 12 a una velocidad de entre 3 y 4 m/s de manera que el gas reductor caliente permea a través del lecho 14 empacado de aglomerados. La temperatura del gas reductor caliente se controla para que sea superior a 1300 ° C y hasta

1700 ° C, dependiendo del tipo de material de alimentación metalífero en el aglomerado y el grado de reducción del material de alimentación metalífero deseado en el lecho 14 empacado de aglomerados.

A modo de ejemplo, el gas reductor caliente se alimentará al reactor 12 a una temperatura más baja cuando el material de alimentación metalífero sea un óxido de hierro que en un caso donde el material de alimentación metalífero sea un óxido de cromo. Es importante destacar que la temperatura del gas reductor caliente para la fundición de óxidos de hierro se puede ajustar a un nivel inferior a la temperatura a la que se reducirían los óxidos de sílice y sulfuros, lo que garantizará la producción de arrabio de alta pureza. El gas reductor caliente es típicamente gas de síntesis y preferiblemente tiene una proporción monóxido de carbono a dióxido de carbono (CO/CO<sub>2</sub>) mayor a 10, preferiblemente 15. A medida que el gas reductor caliente penetra a través del lecho 14 empacado de aglomerados, el material de alimentación metalífero se reduce parcialmente hacia su forma metálica. Aquí, la proporción CO/CO<sub>2</sub> del gas de síntesis se controla para evitar la reoxidación del material de alimentación metalífero reducido en el lecho 14 empacado de aglomerados y el reactor 12.

Además de reducir parcialmente el material de alimentación metalífero en los aglomerados, el gas reductor caliente fusiona el aglomerado, formando así un material fundido que comprende un componente metalífero parcialmente reducido, un componente de escoria intermedio y un componente reductor no reaccionado arrastrado; el componente reductor no reaccionado arrastrado emana del aglomerado. Una ventaja del proceso de la invención es que se puede controlar la temperatura de fusión del aglomerado. El control sobre la temperatura de fusión del aglomerado da como resultado el control sobre el tiempo de residencia del material de alimentación metalífero en el reactor 12, es decir, se controla la tasa a la que el material fundido formado fluye fuera del lecho 14 empacado. A su vez, el control sobre el tiempo de residencia del material de alimentación metalífero en el reactor 12 da como resultado el control sobre el grado de reducción del material de alimentación metalífero que tiene lugar en el reactor.

Una ventaja significativa adicional de la presente invención es que controlando o manipulando la composición de los aglomerados se puede controlar o manipular la temperatura de fusión de los aglomerados. De esta manera se puede controlar la tasa de fundición del aglomerado y el grado de reducción del material de alimentación metalífero fino en el reactor 12. Por ejemplo, al reducir la temperatura de fusión del aglomerado, se aumenta la tasa de fundición del aglomerado y se disminuye el grado de reducción del material de alimentación metalífero en el reactor 12. A su vez, al aumentar la temperatura de fusión del aglomerado, se disminuye la tasa de fundición del aglomerado y se aumenta el grado de reducción del material de alimentación metalífero en el reactor 12. Se apreciará que las etapas anteriores determinarán el tiempo de residencia del aglomerado y del material de alimentación metalífero que contiene óxidos metálicos en el reactor 12. De esta forma se puede controlar el grado de reducción de los óxidos metálicos presentes en los aglomerados, lo que resulta útil para optimizar la rentabilidad.

La temperatura de fusión del aglomerado está controlada por una serie de características físicas y químicas del aglomerado y sus componentes. Por ejemplo, la temperatura de fusión del aglomerado se puede aumentar añadiéndole un fundente o un agente fundente. La naturaleza o el tipo de material de alimentación metalífero también influiría en la temperatura de fusión del aglomerado; es decir, en igualdad de condiciones, un aglomerado que contenga óxido de hierro se funde a una temperatura más baja que un aglomerado que contenga óxido de cromo.

En consecuencia, el tiempo de residencia del aglomerado en el reactor y, por tanto, el grado de reducción del material de alimentación metalífero, pueden controlarse dependiendo de uno o de una combinación de los siguientes factores:

- la temperatura de fusión del material de alimentación metalífero y/o aglomerado, que se controla mediante:

- i. la cantidad y naturaleza del fundente o agente fundente añadido al aglomerado;

- ii. la cantidad y naturaleza del aglomerante o agente aglomerante añadido al aglomerado; y

- iii. la selección de los tipos de mineral.

- la temperatura a la que se alimenta el gas reductor caliente al lecho 14 empacado de aglomerados; y

- el tamaño de los aglomerados.

En una región operativamente inferior del lecho 14 empacado se forma una interface permeable al fluido. La interface permeable al fluido permite que: (i) el gas reductor caliente pase a través de este y dentro del lecho 14 empacado de aglomerados y (ii) el material fundido fluya fuera y lejos del lecho 14 empacado de aglomerados. En la realización mostrada en la Figura 1, la interface permeable al fluido se forma adyacente a una obstrucción 22 ubicada en el reactor 12. La obstrucción 22 de la Figura 1 toma la forma de un lecho poroso de refractarios. Sin embargo, la obstrucción 22 también puede tomar la forma de un lecho poroso de partículas de coque.

La caída de presión del gas reductor caliente a través de la interface de fluido permeable y el lecho 14 empacado de aglomerados se minimiza y normalmente es del orden de 5 a 10 kPa. La temperatura del gas reductor caliente, después de haber pasado a través del lecho 14 permeable de aglomerados, es típicamente inferior a 300 ° C.

5 Después de haber pasado a través de la interface permeable al fluido y desde el lecho 14 empacado de aglomerados hasta el recipiente 26, se agrega energía eléctrica al material fundido. Añadiendo energía eléctrica al material fundido, el componente metalífero parcialmente reducido del material fundido se metaliza y se forman un producto 16 metálico líquido optimizado y un producto 18 de escoria concentrada final. Se añade energía eléctrica al material fundido a través de un electrodo o electrodos 24 que está o están sumergidos en el material fundido.

10 En una realización de la invención, los productos de metal líquido optimizados y de escoria final se forman a través de una reacción electroquímica entre el constituyente metalífero parcialmente reducido y el constituyente reductor no reaccionado arrastrado, sirviendo la escoria intermedia como electrolito. Esto permite que la metalización avance a niveles mucho más altos en comparación con la fundición convencional tal como se conoce en la técnica.

15 Ventajosamente, el recipiente 26 está en comunicación de flujo de fluido con el reactor 12, minimizando así la pérdida de calor durante la transferencia del material fundido desde la reacción de reducción parcial y fusión a la reacción electroquímica. Además, se puede agregar reductor adicional (no se muestra) al material fundido antes o mientras se lo somete a la reacción electroquímica.

20 Un avance importante logrado en el proceso 10 de la presente invención es que permite el procesamiento de los minerales con gas de síntesis caliente al mismo tiempo que permite que los productos se fusionen y tiene un diseño de proceso que puede transferir el material fundido a un recipiente adicional para producir un producto de metal líquido y un producto de escoria final. El proceso 10 de la presente invención demuestra así que, contrariamente a la percepción de las personas experimentadas en la técnica de que minerales como el cromo y manganeso no se pueden fundir con gases calientes producidos comercialmente, estos minerales de hecho se pueden fundir mediante el uso de dichos gases utilizando el proceso 10 de la presente invención.

25 El proceso 10 de la presente invención proporciona además la ventaja principal de que las temperaturas de reacción del proceso se pueden controlar a una temperatura requerida, esto a su vez permite que se reduzca un componente metálico para alcanzar una temperatura seleccionada mientras se evita la reducción de impurezas que están presentes.

30 Las personas experimentadas en la técnica apreciarán que la invención no está limitada a los detalles precisos que se describen aquí y que son posibles muchas variaciones sin alejarse del alcance de la invención. Como tal, la presente invención se extiende a todos los equipos, estructuras, métodos y usos de procesamiento funcionalmente equivalentes que estén dentro de su alcance. En particular, las etapas del proceso previsto no necesariamente deben ejecutarse secuencialmente. Además, se prevé que las etapas del proceso previsto no necesariamente se ejecuten en el orden aquí indicado.

35 La descripción se presenta sólo a modo de ejemplo con el fin de proporcionar lo que se cree que es la descripción más útil y fácilmente comprensible de los principios y aspectos conceptuales de la invención. A este respecto, no se intenta mostrar detalles estructurales de la invención y/o del equipo utilizado en ella con más detalle del que es necesario para una comprensión fundamental de la invención. Las palabras que se han utilizado aquí son palabras descriptivas e ilustrativas, más que palabras limitativas.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para la fundición de un material de alimentación metalífero, que incluye las etapas de:
- (i) alimentar un aglomerado que comprende un material de alimentación metalífero fino, que tiene un tamaño de partícula de menos o igual a 6 mm, y un reductor fino, que tiene un tamaño de partícula de menos o igual a 6 mm, a un reactor, formando el aglomerado un lecho empacado dentro del reactor;
- (ii) fundir el aglomerado haciendo pasar un gas reductor caliente, a una temperatura superior a 1200 ° C, a contracorriente a través del lecho empacado para formar un material fundido que comprende un componente metalífero parcialmente reducido, un componente de escoria intermedio y un componente reductor no reaccionado arrastrado; y
- (iii) canalizar el material fundido para que fluya hacia un recipiente para formar un producto metálico y un producto de escoria, estando el recipiente separado y en comunicación de flujo de fluido con el reactor.
2. El proceso de la reivindicación 1, en donde el proceso incluye la etapa adicional de añadir energía eléctrica al material fundido en el recipiente para reducir aún más el constituyente metalífero parcialmente reducido para formar un producto de metal líquido optimizado y un producto de escoria final, en el que el constituyente reductor no reaccionado arrastrado en el material fundido sirve como agente reductor.
3. El proceso de la reivindicación 2, en donde se controla la adición de energía eléctrica al material fundido para ajustar la temperatura del material fundido para formar el producto de metal líquido optimizado y el producto de escoria final, siendo el producto de metal líquido optimizado y el producto de escoria final adecuados para ser extraídos del recipiente.
4. El proceso de la reivindicación 2 o reivindicación 3, en donde se añade energía eléctrica al material fundido para reducir completamente el componente metalífero parcialmente reducido presente en el material fundido.
5. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se manipula la composición de los aglomerados para reducir la temperatura de fusión de los aglomerados en el lecho empacado, para aumentar de este modo la tasa de fusión de los aglomerados y disminuir el grado de reducción del material de alimentación metalífero fino.
6. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde se manipula la composición de los aglomerados para aumentar la temperatura de fusión de los aglomerados para disminuir de este modo la tasa de fusión de los aglomerados y aumentar el grado de reducción del material de alimentación metalífero fino.
7. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el gas reductor caliente tiene una proporción CO/CO<sub>2</sub> superior a 5 y preferiblemente superior a 10 para evitar la reoxidación del componente metalífero parcialmente reducido.
8. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el gas reductor caliente que pasa a través del lecho empacado tiene una temperatura superior a 1200 ° C, preferiblemente superior a 1350 ° C y, más preferiblemente, superior a 1600 ° C, dependiendo la temperatura del metal que se esté produciendo.
9. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el lecho empacado incluye una interface permeable a fluidos en una posición operativa corriente abajo con respecto a una región donde el aglomerado se alimenta al reactor, permitiendo la interface permeable a fluidos que el gas reductor caliente pase a través de la misma y a través del lecho empacado de aglomerados.
10. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye la etapa adicional de añadir reductor adicional al material fundido en el recipiente.
11. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 10, en donde se añade energía eléctrica al material fundido a través de electrodos que están sumergidos en el material fundido.
12. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 11, en donde el producto de metal líquido optimizado y el producto de escoria final se forman a través de una reacción electroquímica entre el constituyente metalífero parcialmente reducido y el constituyente reductor arrastrado no reaccionado en el material fundido, sirviendo el constituyente de escoria intermedio como electrolito.
13. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el tiempo de residencia del material de alimentación metalífero en el lecho empacado de aglomerados se controla para impactar el grado de reducción del material de alimentación metalífero en el reactor.
14. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las temperaturas de operación en el reactor y el recipiente se controlan para metalizar selectivamente un primer metal objetivo en el material

de alimentación metalífero, permitiendo de este modo que el primer metal objetivo metalizado se reporte al producto de metal líquido optimizado y que los metales no objetivo se reporten al producto de escoria final.

- 5 15. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 14, en donde el producto de escoria final se proporciona como material de alimentación metalífero en un proceso posterior, siendo el proceso posterior un proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, y en donde las temperaturas de operación en el reactor y el recipiente en el proceso posterior se controlan para metalizar selectivamente un segundo metal objetivo en el material de alimentación metalífero, permitiendo de este modo que el segundo metal objetivo metalizado se reporte al producto de metal líquido del proceso posterior y que los metales no objetivo restantes se reporten al producto de escoria final del proceso posterior.

10

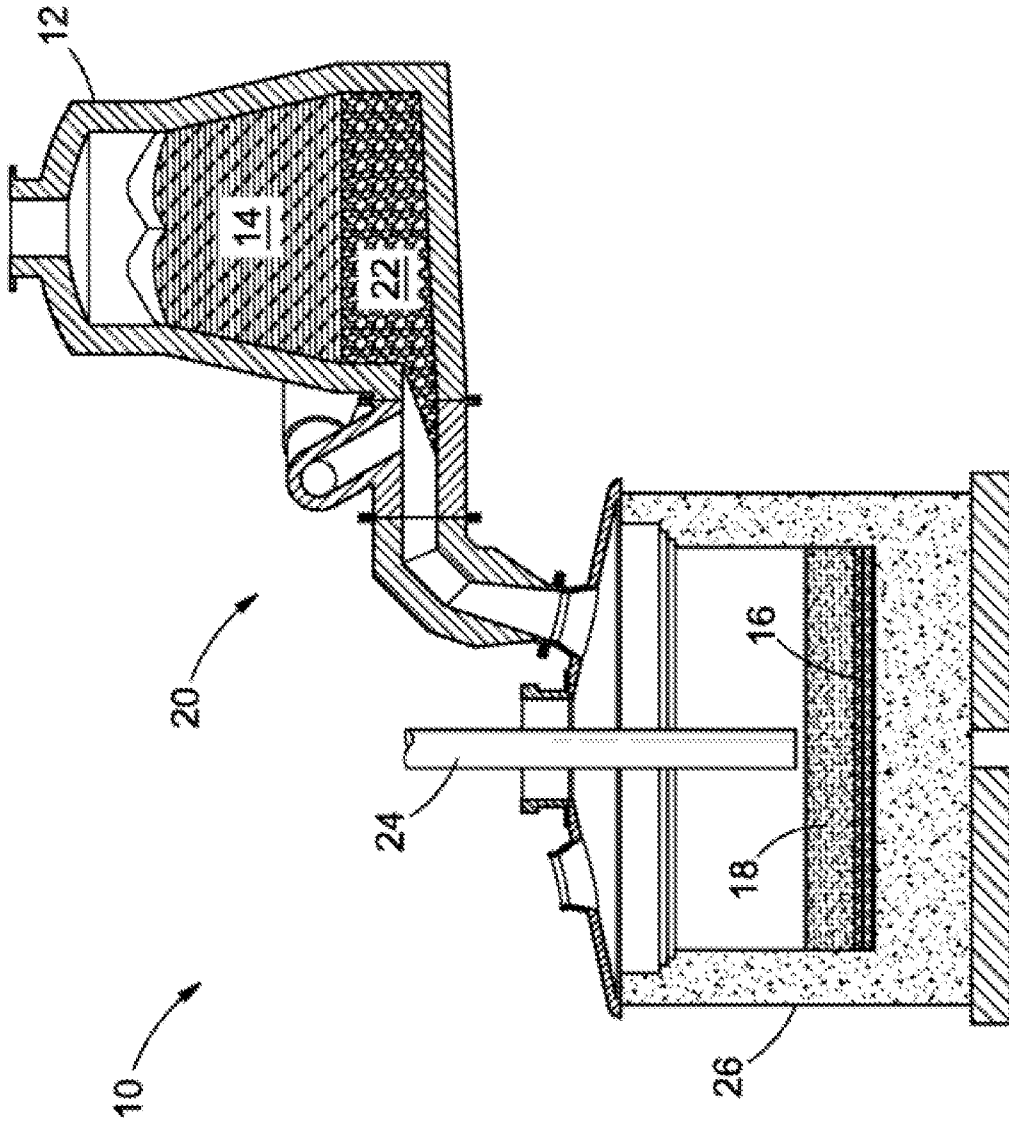


FIGURA 1