

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 971 973**

51 Int. Cl.:

C21B 13/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.02.2020** **PCT/EP2020/053758**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.08.2020** **WO20165342**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.02.2020** **E 20707190 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.11.2023** **EP 3924524**

54 Título: **Sistema de reducción directa y proceso relacionado**

30 Prioridad:

13.02.2019 IT 201900002081

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

10.06.2024

73 Titular/es:

DANIELI & C. OFFICINE MECCANICHE S.P.A.
(50.0%)

Via Nazionale 41

33042 Buttrio, IT y

HYL TECHNOLOGIES, S.A. DE C.V. (50.0%)

72 Inventor/es:

ZAMPA, MASSIMILIANO y

MAGGIOLINO, STEFANO

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 971 973 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

Sistema de reducción directa y proceso relacionado

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un sistema de reducción directa y a un proceso relacionado, particularmente adaptado para producir hierro metálico mediante una reducción directa de mineral de hierro usando gas reductor.

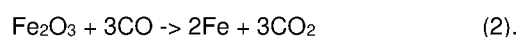
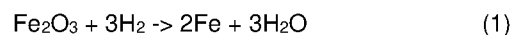
Antecedentes de la técnica

10 Los sistemas para la producción de hierro reducido (HRD) del tipo conocido constan de una cámara de reacción o reactor, en el que se carga óxido de hierro en forma de gránulos y/o trozos, y de una línea de tratamiento y alimentación de gas reductor adaptada a reducir dicho óxido de hierro en el reactor. En la cámara de reacción, o reactor, el gas reductor se inyecta a alta temperatura. En los sistemas de reducción directa que comprenden un reactor de lecho móvil de tipo eje que tiene una zona de reducción, el gas reductor se introduce en la parte inferior de la zona de reducción del reactor y se lleva en dirección ascendente a través del lecho de óxido de hierro para luego ser extraído por la parte superior de dicha zona de reducción como gas de escape, reacondicionado y recirculado. El gas de escape que sale del reactor se somete a un tratamiento adecuado que comprende ser desempolvado, privado de productos de reacción (H₂O y CO₂) y comprimido; luego se mezcla con un gas de reposición, normalmente gas natural de reposición. El flujo de gas, definido por la mezcla del nuevo gas de reposición y del gas de escape reciclado después del tratamiento mencionado anteriormente, se envía a una unidad de calentamiento que lo lleva a la temperatura requerida por el proceso de reducción, generalmente de más de 850 °C. Dicha unidad de calentamiento puede ser un calentador encendido o un reformador de metano.

20 Los documentos KR20050054849A, US5413622A y WO2018/024767A1 son técnicas anteriores conocidas en el campo técnico. El documento KR20050054849A divulga un aparato de fabricación de hierro fundido que incluye una unidad de reactor fluidizador de múltiples etapas, un aparato de fabricación de briquetas, una briquetadora, un fundidor-gasificador y un tubo de suministro de gas de hulla reductor.

25 El flujo de gas reductor calentado, en el que se inyecta oxígeno para aumentar aún más su temperatura, se envía finalmente al reactor, en el que se introducen desde arriba gránulos y/o trozos de minerales que contienen óxidos de hierro a reducir, mientras que, en el extremo opuesto se extrae el HRD (producto de hierro de reducción directa), que se envía a un horno de fusión mediante un sistema de transporte neumático, por gravedad o mediante cintas.

30 Más detalladamente, durante el proceso de reducción del óxido de hierro, el oxígeno se retira del mineral de hierro mediante reacciones químicas con hidrógeno y monóxido de carbono, para obtener HRD con un alto grado de metalización (relación entre hierro metálico y hierro total contenido en el HRD). Las reacciones de reducción generales implicadas en el proceso son bien conocidas y se muestran a continuación:



35 El hidrógeno y el monóxido de carbono, al reaccionar con el oxígeno del óxido de hierro, se convierten en agua y dióxido de carbono según las reacciones (1) y (2). En el gas de escape que sale del reactor, además de H₂O y CO₂, también están presentes H₂ y CO sin reaccionar. Para recuperar y reciclar estos agentes reductores H₂ y CO, el gas de escape se procesa como se describe anteriormente.

40 La reducción de los óxidos de hierro se lleva a cabo a alta temperatura en el reactor de reducción y el HRD producido puede descargarse de dicho reactor a alta temperatura. Desventajosamente, cuando el horno de fusión experimenta mantenimiento o se detiene temporalmente por razones de producción, la producción de HRD que no es recibida por el horno de fusión debe desviarse a otras líneas de tratamiento que normalmente dan un producto final frío. Para evitar las continuas paradas y reinicios del sistema de reducción directa, el reactor de descarga en caliente siempre tiene una posibilidad alternativa de enfriamiento mediante un enfriador externo, que puede cargarse por gravedad o mediante transporte neumático. El HRD frío producido debe almacenarse en silos inertes adecuados, para evitar el riesgo de que el producto se reoxide por reacción de su hierro metálico con el oxígeno y el agua del aire. Como alternativa, el material puede briquetarse (produciendo HBC), lo que implica un coste de procesamiento adicional, asegurando así una alta estabilidad del producto, que puede transportarse y almacenarse sin precauciones particulares.

50 Este enfriamiento de HRD, sin embargo, implica la instalación de sistemas de enfriamiento, transporte y almacenamiento del HRD frío, lo que hace que el diseño del sistema de reducción sea considerablemente complejo.

Además, cuando es necesario alimentar nuevamente el horno de fusión, el HRD frío cargado en el horno de fusión causa un mayor consumo de energía durante la etapa de fusión, en comparación con el consumo de energía de fundir el HRD cargado en caliente.

Por lo tanto, se percibe la necesidad de proporcionar un sistema de reducción directa y un proceso relacionado capaz de superar los inconvenientes citados anteriormente.

Sumario de la invención

5 Es un objeto de la presente invención proporcionar un sistema de reducción directa que permita regular temporalmente el caudal de gas reductor hacia el reactor, manteniendo las condiciones normales de funcionamiento de la unidad de calentamiento o reformado de gas y adaptando así la tasa de producción del sistema de reducción directa a las necesidades de producción del horno de fusión, sin necesidad de desviar la descarga de HRD caliente del reactor hacia la producción de HRD frío en el caso de una parada de la unidad de fusión para la producción de acero, con lo que la invención permite acelerar la producción de HRD caliente hasta el nivel nominal del reactor cuando el horno de fusión requiera la máxima alimentación y detener la producción cuando no lo requiera. La invención da como resultado una simplificación considerable del diseño del sistema de reducción, ya que no se requiere la instalación de sistemas de enfriamiento, transporte y almacenamiento de HRD frío.

10 Otro objeto de la presente invención es proporcionar un proceso de reducción directa relacionado. La presente invención logra al menos uno de tales objetos, y otros objetos que resultarán evidentes a la luz de la presente descripción, mediante un sistema de reducción directa de óxido de hierro que comprende

- 15 – un reactor que tiene un área de reducción y que está adaptado para cargarse desde arriba con dichos óxidos de hierro;
- una línea de tratamiento y alimentación para tratar el gas de proceso, obteniendo así una mezcla de gases reductores, y para alimentar dicha mezcla de gases reductores al área de reducción;
- 20 – una línea de recuperación y tratamiento para recuperar y tratar un gas de escape que sale del reactor, comunicándose en dirección ascendente con el reactor y en dirección descendente con dicha línea de tratamiento y alimentación;

25 en donde se proporciona al menos un conducto de derivación, adaptado para desviar al menos una porción de dicha mezcla de gases reductores desde dicha línea de tratamiento y alimentación a dicha línea de recuperación y tratamiento;

en donde se proporcionan

- al menos una primera válvula de regulación para regular la porción de la mezcla de gases reductores que, mediante dicho al menos un conducto de derivación, alcanza la línea de recuperación y tratamiento;
- 30 – al menos una segunda válvula de regulación para regular el paso del gas de escape que sale del reactor a lo largo de la línea de recuperación y tratamiento;
- al menos un dispositivo de control para controlar dicha al menos una primera válvula de regulación y dicha al menos una segunda válvula de regulación;

35 y en donde dicho dispositivo de control está adaptado para recibir una primera señal indicativa de un caudal de descarga de HRD del reactor y para producir una segunda señal para controlar al menos una primera válvula de regulación y una tercera señal para controlar al menos una segunda válvula de regulación.

40 Se proporciona al menos un sensor para detectar el caudal de descarga de HRD en tiempo real desde el reactor y enviar dicha primera señal al dispositivo de control. Dada una demanda de alimentación predeterminada del horno eléctrico de fusión, situado en dirección descendente del reactor, el dispositivo de control produce en consecuencia la segunda señal y la tercera señal para alcanzar o mantener el caudal de descarga de HRD deseado del reactor. La línea de tratamiento y alimentación puede comprender una unidad de calentamiento o reformado.

La línea de recuperación y tratamiento puede comprender un dispositivo de bombeo.

Según un aspecto adicional de la invención, se proporciona un proceso de reducción directa, que se puede llevar a cabo mediante el sistema citado anteriormente, que comprende las siguientes etapas:

- 45 a) alimentar dicha mezcla de gases reductores al área de reducción del reactor mediante la línea de tratamiento y alimentación;
- b) recuperar y tratar el gas de escape que sale del reactor mediante la línea de recuperación y tratamiento que comunica en dirección descendente con dicha línea de tratamiento y alimentación;

en donde se proporciona una desviación de al menos una porción de la mezcla de gases reductores desde dicha línea de tratamiento y alimentación a dicha línea de recuperación y tratamiento mediante al menos un conducto de derivación;

en donde se proporcionan las etapas de

- 5 — regular, mediante dicha al menos una primera válvula de regulación, la al menos una porción de la mezcla de gases reductores que, mediante dicho al menos un conducto de derivación, alcanza la línea de recuperación y tratamiento;
- regular, mediante dicha al menos una segunda válvula de regulación, el paso del gas de escape que sale del reactor a lo largo de la línea de recuperación y tratamiento;
- 10 — controlar dicha al menos una primera válvula de regulación y dicha al menos una segunda válvula de regulación mediante dicho al menos un dispositivo de control;

y en donde dicho al menos un dispositivo de control recibe una primera señal indicativa de un caudal de descarga de HRD del reactor y produce una segunda señal, para controlar al menos una primera válvula de regulación, y una tercera señal para controlar al menos una segunda válvula de regulación.

- 15 La solución de la invención permite que el sistema de reducción directa funcione con una productividad variable, dependiendo de la demanda de material proveniente del horno de fusión. El circuito de alimentación del gas reductor está diseñado de manera que permita una regulación del flujo hacia el reactor. En esencia, solo se toma del circuito de alimentación de gas reductor, externo al reactor, la cantidad de gas reductor necesaria para asegurar la productividad actualmente requerida por el horno de fusión.
- 20 En particular, el sistema de reducción directa de la presente invención incluye variar la productividad del sistema dependiendo de las necesidades del horno de fusión, insertando un ramal o conducto de derivación en el circuito de alimentación del gas reductor, para modular, posiblemente hasta detener por completo, la entrada del gas reductor al reactor. Este ramal de derivación se usa cuando el horno de fusión no necesita recibir, o necesita menos, material: esto implica el desvío del gas reductor y la recirculación del mismo externamente al reactor hasta que el horno de fusión vuelve a ser capaz de recibir material a fundir. Esto permite ralentizar o detener la producción de HRD del sistema de reducción directa sin parar el sistema.
- 25 En una realización, el ramal de derivación conecta el tramo de la línea de tratamiento y alimentación de gas reductor, preferiblemente comprendido entre un dispositivo de inyección de oxígeno, situado en dirección descendente de la unidad de calentamiento o reformado, y el reactor, con el tramo de la línea de recuperación y tratamiento de gas de escape, preferiblemente comprendido entre el reactor y un dispositivo de bombeo para bombear el gas de escape tratado hacia dicha línea de tratamiento y alimentación.

- 30 En una realización adicional, el ramal de derivación conecta preferiblemente el tramo en dirección descendente de la unidad de calentamiento o reformado de la línea de tratamiento y alimentación de gas reductor con el tramo entre la unidad de lavado de gas de escape y la unidad de condensación a lo largo de la línea de recuperación y tratamiento de gas de escape.
- 35 Tal ramal de derivación puede incluir un sistema de "quenching" o enfriamiento rápido que permita reducir la temperatura del gas que lo atraviesa.
- Opcionalmente, entre el reactor del sistema de reducción directa y el horno de fusión se pueden proporcionar únicamente uno o más tanques de despresurización intermedios, con una simplificación considerable de la planta siderúrgica. Tales tanques intermedios, en los que se almacena temporalmente el HRD producido, permiten un flujo de alimentación controlado del material a fundir en el horno de fusión.

- 40 Algunas de las principales ventajas del sistema de la invención son las siguientes:
 - no se requiere la instalación de sistemas de enfriamiento, transporte y almacenamiento del HRD frío, simplificando considerablemente el diseño del sistema;
 - 45 — la posibilidad de cargar siempre HRD caliente en el horno de fusión, maximizando el ahorro de energía durante la etapa de fusión;
 - representa una solución ideal para mercados donde hay poca disponibilidad de chatarra;
 - la posibilidad de un control completo de la composición del acero (sin impurezas ni contaminación, por ejemplo, de cobre);
- 50

- mayor respeto por el medio ambiente gracias a las menores emisiones de dióxido de carbono.

Otras características y ventajas de la invención resultarán más evidentes a la vista de la descripción detallada de realizaciones ejemplares, pero no exclusivas.

Las reivindicaciones dependientes describen realizaciones particulares de la invención.

5 **Breve descripción de las Figuras**

En la descripción de la invención se hace referencia a los dibujos adjuntos, que se proporcionan a título explicativo y no limitativo, en los que:

La Figura 1 muestra un diagrama de una primera realización de un sistema de reducción directa según la invención;

10 la Figura 2 muestra un diagrama de una segunda realización de un sistema de reducción directa según la invención; y

la Figura 3 muestra un diagrama de una tercera realización de un sistema de reducción directa según la invención.

Descripción de realizaciones ejemplares de la invención.

15 Con referencia a las Figuras, se muestra un ejemplo de un sistema de reducción directa para una reducción directa de óxidos de mineral de hierro, mediante una reacción con una mezcla de gases reductores derivada de un gas de proceso, comprendiendo el sistema un circuito provisto de:

- un reactor 1, preferiblemente un reactor de una sola etapa, que tiene un área de reducción 2 y está adaptado para cargarse desde arriba con partículas que contienen óxidos de mineral de hierro;
- una línea de tratamiento y alimentación 11 para tratar gas de proceso, obteniendo así una mezcla de gases reductores, y para alimentar dicha mezcla de gases reductores al área de reducción 2;
- 20 — una línea de recuperación y tratamiento 10 para recuperar y tratar un gas de escape que sale del reactor 1, comunicándose dicha línea 10 en dirección ascendente con el reactor 1 y en dirección descendente con dicha línea de tratamiento y alimentación 11;
- una fuente externa 26 de gas reductor de reposición que suministra gas reductor de reposición a la línea de tratamiento y alimentación 11.

25 Tal gas reductor de reposición puede ser gas natural o cualquier otro gas que tenga propiedades reductoras, tal como gas reformado, hidrógeno, gas de síntesis, gas de horno de coque (GHC), etc. En esta descripción, "gas de proceso" significa el gas reductor de reposición procedente de la fuente externa 26, en caso de que el gas de escape que sale del reactor 1 no se recicle, o significa la mezcla de gases obtenida mezclando el gas reductor de reposición procedente de la fuente externa 26 con el gas de escape tratado en la línea de recuperación y tratamiento 10; mientras que
30 "mezcla de gases reductores" significa el gas de proceso anteriormente citado, una vez tratado en la línea de tratamiento y alimentación 11, es decir, humidificado (opcionalmente), calentado y tratado con la inyección de oxígeno.

Ventajosamente, el circuito está provisto de al menos un conducto de derivación 30, por ejemplo un único conducto de derivación, para desviar al menos una porción de la mezcla de gases reductores desde la línea de tratamiento y alimentación 11 a la línea de recuperación y tratamiento 10. Esto permite regular el flujo de gas reductor hacia el
35 reactor, adaptando el caudal de la mezcla de gases reductores a la tasa de producción de HRD del sistema de reducción directa y a su vez a los requerimientos de producción del horno de fusión de HRD dispuesto en dirección descendente del sistema. Preferiblemente, el horno de fusión HRD es un horno de arco eléctrico (HAE) dispuesto en dirección descendente del reactor 1.

40 Preferiblemente, se proporciona al menos una válvula de regulación 32 para regular la porción de la mezcla de gas reductor que, a través del conducto de derivación 30, alcanza la línea de recuperación y tratamiento 10. En el caso de dos o más conductos de derivación, cada conducto de derivación está provisto de al menos una válvula de regulación.

Para adaptar mejor la tasa de producción del sistema de reducción directa a los requerimientos de producción del horno, se proporciona un dispositivo de regulación para regular la carga de mineral de hierro, que se introduce desde
45 arriba en el reactor 1. Tal dispositivo de regulación comprende, por ejemplo, una válvula rotativa que, dependiendo de la velocidad de la misma, regula ventajosamente el caudal de descarga de salida de mineral de hierro y, en consecuencia, también la alimentación de mineral de hierro hacia el reactor 1.

También se puede proporcionar un alimentador vibratorio 54 (Figura 3) en el extremo inferior del reactor 1 para regular el caudal de descarga de HRD del reactor, de manera coordinada con la regulación del caudal de mineral de hierro introducido desde arriba en el reactor.

Una ventaja adicional puede ser la provisión de una unidad de enfriamiento 31 a lo largo del conducto de derivación 30, para enfriar la porción anteriormente mencionada de la mezcla de gases reductores, permitiendo la disminución de la temperatura del gas que pasa a través del conducto 30 antes de alcanzar el gas de escape presente en la línea de recuperación y tratamiento 10.

- 5 A modo de ejemplo, esta unidad de enfriamiento 31 puede comprender un dispositivo de inyección de agua de enfriamiento y un separador de gas-líquido, por ejemplo en forma de un depósito separador.

En una primera realización mostrada en la Figura 1, la línea de tratamiento y alimentación 11 comprende:

- los conductos a través de los cuales está adaptado para pasar el gas de proceso, obtenido mezclando el gas de escape tratado que sale del reactor y el gas reductor de reposición de la fuente externa 26;
- 10 — opcionalmente, al menos una unidad de humidificación de gas de proceso 27, por ejemplo solo una unidad de humidificación 27;
- al menos una unidad de calentamiento o unidad de reformado 12, por ejemplo, solo una unidad de calentamiento o unidad de reformado 12;
- 15 — y al menos un dispositivo de inyección 4, por ejemplo solo un dispositivo de inyección 4, dispuesto en dirección descendente de la unidad de calentamiento 12 y adaptado para inyectar oxígeno en el flujo de gas de proceso.

La línea de recuperación y tratamiento 10, en cambio, comprende:

- los conductos a través de los cuales está adaptado para pasar el gas de escape que sale del reactor 1;
- al menos un intercambiador de calor 21, por ejemplo solo un intercambiador de calor, para enfriar el gas de escape que sale del reactor 1;
- 20 — al menos una unidad de lavado 38 para lavar el gas de escape, por ejemplo solo una unidad de lavado, adaptada para lavar el gas de escape con agua de lavado y separar el gas de escape del agua de lavado;
- al menos una unidad de condensación 22, por ejemplo solo una unidad de condensación, dispuesta en dirección descendente de dicha al menos una unidad de lavado 38, para retirar el agua del gas de escape, obteniendo así un gas deshidratado.
- 25 En dirección descendente de la unidad condensadora 22, pueden proporcionarse de forma secuencial al menos un dispositivo de bombeo 24, por ejemplo solo un dispositivo de bombeo, para bombear el gas deshidratado hacia la línea de tratamiento y alimentación 11, un dispositivo de enfriamiento 39 para enfriar dicho gas deshidratado, y un dispositivo de extracción 25 para la retirada de dióxido de carbono.

- 30 Preferiblemente, los conductos de la línea de recuperación y tratamiento 10, en dirección descendente de la unidad condensadora 22, comprenden:

- un conducto lateral 23, que conecta la línea de recuperación y tratamiento 10 con los quemadores de la unidad de calentamiento 12, y en el que se puede enviar un primer flujo de gas de escape deshidratado como gas combustible para dichos quemadores;
- 35 — y un conducto lateral 28, que conecta la línea de recuperación y tratamiento 10 con la línea de tratamiento y alimentación 11 y a lo largo del cual están dispuestos el dispositivo de bombeo 24, el dispositivo de enfriamiento 39 y el dispositivo de extracción de dióxido de carbono 25, y en el que se recircula un segundo flujo de gas de escape deshidratado.

A lo largo del conducto lateral 23 se proporciona preferiblemente una válvula de control de presión 34.

- 40 La unidad de calentamiento 12 está alimentada por la combustión de un combustible apropiado procedente de una fuente 35. El combustible puede ser gas de escape deshidratado, procedente del conducto lateral 23, o hidrógeno o gas natural o una mezcla de los mismos.

En una realización (Figura 1), el al menos un conducto de derivación 30 conecta un tramo de la línea de tratamiento y alimentación 11, situado en dirección descendente del al menos un dispositivo de inyección 4, con un tramo de la línea de recuperación y tratamiento 10, situado entre la al menos una unidad de lavado 38 y la unidad de condensación 22.

- 45 Preferiblemente, se proporciona al menos una válvula de regulación adicional 33 a lo largo de la línea de recuperación y tratamiento 10, para regular el paso del gas de escape desde la unidad de lavado 38 hacia la unidad de condensación 22.

Más generalmente, es suficiente que el al menos un conducto de derivación 30 conecte un tramo de la línea de tratamiento y alimentación 11, situado en dirección descendente del al menos una unidad de calentamiento o reformado 12, preferiblemente en dirección descendente o ascendente del al menos un dispositivo de inyección 4, con un tramo de la línea de recuperación y tratamiento 10, situado entre el reactor 1 y el al menos un dispositivo de bombeo 24.

La línea de tratamiento y alimentación 11 está conectada en dirección ascendente tanto con la línea de recuperación y tratamiento 10 como con la fuente externa 26 de gas reductor de reposición. En particular, la fuente externa 26 está conectada con un tramo del circuito comprendido entre el dispositivo de retirada de dióxido de carbono 25 de la línea de recuperación y tratamiento 10 y la unidad de calentamiento 12 de la línea de tratamiento y alimentación 11. A lo largo del conducto 36, que conecta la fuente externa 26 con la línea de tratamiento y alimentación 11, se proporciona una válvula de control de presión o válvula de regulación 37.

Opcionalmente, se puede proporcionar al menos una unidad de humidificación 27 entre la fuente externa 26 y la unidad de calentamiento 12, a lo largo de la línea de tratamiento y alimentación 11.

Una segunda realización del sistema de la invención, mostrada en la Figura 2, es sustancialmente igual a la primera realización y proporciona un conducto 15 de la línea de tratamiento y alimentación 11, adaptado para ser atravesado por el gas de proceso, para pasar a través del al menos un intercambiador de calor 21 de la línea de recuperación y tratamiento 10 para precalentar el gas de proceso en dirección ascendente de la unidad de calentamiento 12, aprovechando el calor del gas de escape que sale justo del reactor 1. En esta configuración, la fuente de gas reductor de reposición es una fuente de gas reformado o hidrógeno, y no se requiere la unidad de humidificación de gas de proceso 27. Una tercera realización del sistema de la invención, mostrada en la Figura 3, es sustancialmente similar a la primera y segunda realizaciones.

En esta tercera realización se proporciona además un dispositivo de control 56 para controlar la al menos una válvula de regulación 32, que regula la porción de la mezcla de gas reductor que, a través del conducto de derivación 30, alcanza la línea de recuperación y tratamiento 10, y para controlar la al menos una válvula de regulación 33, que regula el paso del gas de escape, procedente del reactor 1, a lo largo de la línea de recuperación y tratamiento 10. Dicho dispositivo de control 56 puede programarse para funcionar en respuesta a un caudal de descarga de HRD deseado, preferiblemente en respuesta a un caudal de carga de HRD predeterminado que debe entrar en el horno eléctrico de fusión, por ejemplo un HAE.

El dispositivo de control 56 está adaptado para recibir una primera señal 64 indicativa del caudal de descarga en tiempo real de HRD desde el reactor 1, y está configurado para producir una segunda señal 66 enviada a la válvula de regulación 32 y una tercera señal 68 enviada a la válvula de regulación 33.

Se proporciona al menos un sensor para detectar el caudal de descarga de HRD del reactor 1 y enviar dicha primera señal al dispositivo de control 56. Dada una solicitud de alimentación predeterminada del horno eléctrico de fusión, situado en dirección descendente del reactor 1, el dispositivo de control 56 produce en consecuencia la segunda señal y la tercera señal para alcanzar o mantener el caudal de descarga deseado de HRD desde el reactor 1.

Si se va a reducir el caudal de descarga del HRD, el dispositivo de control 56 enviaría a la válvula de control 32 una señal para aumentar la porción de la mezcla de gases reductores que se desvía a la línea de recuperación y tratamiento 10, mientras que dicho dispositivo de control enviaría a la válvula de regulación 33 una señal para disminuir el caudal del gas de escape procedente del reactor 1 y, por lo tanto, disminuir globalmente el caudal de la mezcla de gases reductores hacia el reactor 1.

Opcionalmente, el dispositivo de control 56 también puede enviar una señal a la válvula de regulación 37 (Fig. 1) que regula el caudal del gas reductor de reposición que entra en la línea de tratamiento y alimentación 11.

Si se proporciona un reformador de hidrocarburos, típicamente que reforma metano a gas natural, como unidad de reformado 12, en la que el metano reacciona con CO_2 y H_2O presentes en el gas de escape procedente de la línea de recuperación y tratamiento 10, preferiblemente se proporciona una fuente externa adicional 60 para suministrar CO_2 y H_2O en dirección ascendente de dicha unidad de reformado 12.

La fuente externa adicional 60 está conectada con un tramo del circuito entre el punto de conexión del conducto 36 con la línea de tratamiento y alimentación 11 y la unidad de reformado 12 anteriormente mencionada. A lo largo del conducto 62, que conecta la fuente externa 60 con la línea de tratamiento y línea de alimentación 11, se proporciona una válvula de regulación 58.

En este caso, el dispositivo de control 56 también está configurado para producir una cuarta señal 70 enviada a la válvula de regulación 58.

Por lo tanto, si se va a reducir el caudal de descarga del HRD, el dispositivo de control 56 enviaría una señal también a la válvula de regulación 58 para aumentar el suministro de CO_2 y H_2O , considerando la disminución simultánea del caudal de gases de escape procedentes del reactor 1. De esta forma, la unidad de reformado 12 puede continuar su funcionamiento normal sin ningún problema de formación de carburos causado por una menor cantidad de CO_2 y H_2O

en comparación con la cantidad de metano introducido en el reformador.

En esta tercera realización, preferiblemente la unidad de lavado y la unidad de condensación se pueden unir en una única unidad 38 (Figura 3). Además, el dispositivo de retirada 25 para la retirada de dióxido de carbono es un dispositivo opcional.

- 5 Preferiblemente, es posible proporcionar una fuente externa 72 (Figura 3) de un gas para carburizar el HRD, tal como metano u otros hidrocarburos gaseosos o monóxido de carbono. Esta fuente 72 puede alimentar, preferiblemente directamente a través del conducto 74, dicho gas carburante de HRD al reactor 1 en un punto situado debajo de la entrada de alimentación de la mezcla de gases reductores en dicho reactor para regular el contenido de carbono del HRD. Dicha fuente externa 72 también puede proporcionarse en las otras realizaciones descritas anteriormente.
- 10 Con respecto al proceso de reducción directa que se puede llevar a cabo mediante el sistema de la invención, el proceso comprende esencialmente las siguientes etapas:
 - a) alimentar la mezcla de gases reductores al área de reducción 2 del reactor 1 mediante la línea de tratamiento y alimentación 11;
 - b) recuperar y tratar el gas de escape que sale del reactor 1 mediante la línea de recuperación y tratamiento
- 15 10 que se comunica en dirección descendente con la línea de tratamiento y alimentación 11.

El siguiente es un ejemplo de un proceso de reducción directa de mineral de hierro a pleno rendimiento, llevado a cabo mediante el sistema de la invención que se acaba de describir.

- 20 El gas de escape que sale del reactor 1, preferiblemente a una temperatura dentro del intervalo de aproximadamente 250 °C a aproximadamente 450 °C, se canaliza hacia un conducto 50 de la línea de recuperación y tratamiento 10 que lo conduce al intercambiador de calor 21 para un enfriamiento del mismo.

Una vez que el gas de escape se ha enfriado, fluye a través de un conducto 51 hacia la unidad de lavado 38 y posteriormente hacia la unidad de condensación 22 para retirar el agua, obteniendo así un gas de escape deshidratado. En una variante, la unidad de lavado y la unidad de condensación pueden fusionarse en una única unidad 38 (Figura 3).

- 25 Después del enfriamiento, lavado y deshidratación, el gas de escape deshidratado se divide en los dos conductos laterales 23, 28.

- 30 Una pequeña porción del gas de escape deshidratado fluye a través del conducto 23, que tiene una válvula de control de presión o válvula de regulación 34 a través de la cual se puede limpiar una parte del gas del circuito para eliminar acumulaciones no deseadas de gases inertes. La mayor parte del gas de escape deshidratado fluye, en cambio, a través del conducto 28.

- 35 Con referencia a las Figuras, el gas de escape deshidratado que fluye hacia el conducto 28 es empujado por el dispositivo de bombeo 24, que puede ser un compresor o un soplador, para reciclar dicha porción de gas de escape deshidratado para traerlo de regreso al reactor 1. En dirección descendente del dispositivo de bombeo 24, el gas de escape deshidratado fluye a través del conducto 28, pasa a través del posible dispositivo de enfriamiento 39 y posteriormente pasa a través del dispositivo de retirada 25 liberándose de dióxido de carbono, y por lo tanto se mezcla en la línea de tratamiento y alimentación 11 con el gas reductor de reposición originado de la fuente externa 26, por ejemplo gas natural o cualquier otro gas que tenga propiedades reductoras, tal como gas reformado, hidrógeno, gas de síntesis, GHC, etc., definiendo así el gas de proceso. En una variante (Figura 3), la retirada de dióxido de carbono mediante el dispositivo de eliminación 25 es una etapa opcional.

- 40 Este gas de proceso continúa fluyendo a lo largo del conducto 15 donde opcionalmente se somete a un precalentamiento, ya que el conducto 15, con un tramo del mismo, puede pasar por el intercambiador de calor 21 de la línea de recuperación y tratamiento 10 (Figura 2).

En cualquier caso, el gas de proceso, con o sin este precalentamiento, pasa por todo el conducto 15 hasta llegar a la unidad de calentamiento o reformado 12 donde alcanza una temperatura de aproximadamente 850-960 °C.

- 45 En dirección descendente de la unidad de calentamiento o reformado 12, la mezcla de gases reductores, obtenida también inyectando oxígeno mediante al menos un dispositivo de inyección 4, fluye a través del conducto 16 hasta alcanzar el interior del reactor 1.

- 50 El mineral de óxido de hierro, en forma de gránulos o trozos, se alimenta desde arriba al área de reducción 2 del reactor 1, reacciona con el gas reductor caliente que fluye en dirección ascendente con respecto al mismo y finalmente se descarga como HRD caliente.

- 5 Ventajosamente, cuando se requiere regular el flujo de gas reductor hacia el reactor, adaptando así la tasa de producción del sistema de reducción directa a los requisitos de producción del horno de fusión dispuesto en dirección descendente del sistema, se proporciona una desviación de al menos una porción de la mezcla de gases reductores, desde la línea de tratamiento y alimentación 11 hasta la línea de recuperación y tratamiento 10 mediante al menos un conducto de derivación 30.
- La regulación de la porción de mezcla de gases reductores que, pasando por el conducto de derivación 30, alcanza la línea de recuperación y tratamiento 10, ocurre mediante la válvula de regulación 32.
- 10 De manera similar, mediante la válvula de regulación 33, es posible regular el paso del gas de escape a lo largo de la línea de recuperación y tratamiento 10, por ejemplo desde la unidad de lavado 38 hacia la unidad de condensación 22.
- Disminuyendo adecuadamente la cantidad de gas reductor introducido en el reactor 1, también es posible regular, por consiguiente, la cantidad de mineral de hierro cargado desde arriba en el reactor 1.
- 15 Con el sistema de la invención, es posible por lo tanto evitar la desviación de la descarga del reactor hacia un enfriador de HRD para la producción de HRD frío en caso de detención del sistema siderúrgico, y permitir acelerar la producción hasta el nivel nominal cuando el horno de fusión requiera la máxima alimentación e incluso detener la producción cuando no lo requiera, sin las limitaciones operativas propias de un calentador o reformador encendido. Esto da como resultado una simplificación considerable del diseño del sistema de reducción, ya que no es necesaria la instalación de sistemas de enfriamiento, transporte y almacenamiento del HRD frío.
- 20 Ventajosamente, se puede proporcionar un enfriamiento de dicha porción de la mezcla de gases reductores a lo largo del conducto de derivación 30 mediante la unidad de enfriamiento 31.
- Durante una etapa operativa de pleno rendimiento, diferente de la etapa inicial, la temperatura de la porción de la mezcla de gases reductores que entra en la unidad de enfriamiento 31 está, por ejemplo, en el intervalo de 850-960 °C, mientras que la temperatura de dicha porción de la mezcla de gases reductores que sale de la unidad de enfriamiento 31 está, por ejemplo, en el intervalo de 40-180 °C.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de reducción directa para una reducción directa de óxidos de hierro, que comprende
 - un reactor (1) que tiene un área de reducción (2) y que está adaptado para cargarse desde arriba con dichos óxidos de hierro;
- 5
 - una línea de tratamiento y alimentación (11) para tratar el gas de proceso, obteniendo así una mezcla de gases reductores, y para alimentar dicha mezcla de gases reductores al área de reducción (2);
 - una línea de recuperación y tratamiento (10) para recuperar y tratar un gas de escape que sale del reactor (1), comunicándose en dirección ascendente con el reactor (1) y en dirección descendente dicha línea de tratamiento y alimentación (11);
- 10 en donde se proporciona al menos un conducto de derivación (30), adaptado para desviar al menos una porción de dicha mezcla de gases reductores desde dicha línea de tratamiento y alimentación (11) a dicha línea de recuperación y tratamiento (10);
en donde se proporcionan
 - al menos una primera válvula de regulación (32) para regular la porción de la mezcla de gases reductores que, mediante dicho al menos un conducto de derivación (30), alcanza la línea de recuperación y tratamiento (10);
 - 15 – al menos una segunda válvula de regulación (33) para regular el paso del gas de escape que sale del reactor (1) a lo largo de la línea de recuperación y tratamiento (10);
 - al menos un dispositivo de control (56) para controlar dicha al menos una primera válvula de regulación (32) y dicha al menos una segunda válvula de regulación (33);
- 20 y en donde dicho dispositivo de control (56) está adaptado para recibir una primera señal (64) indicativa de un caudal de descarga de HRD del reactor (1) y para producir una segunda señal (66) para controlar la al menos una primera válvula de regulación (32) y una tercera señal (68) para controlar la al menos una segunda válvula de regulación (33).
2. Un sistema según la reivindicación 1, en donde se proporciona una unidad de enfriamiento (31) a lo largo del conducto de derivación (30) para enfriar dicha al menos una porción de la mezcla de gases reductores.
- 25 3. Un sistema según la reivindicación 2, en donde dicha unidad de enfriamiento (31) comprende un dispositivo de inyección de agua y un separador de gas-líquido.
4. Un sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
en donde la línea de tratamiento y alimentación (11) comprende al menos una unidad de calentamiento o reformado (12);
- 30 en donde la línea de recuperación y tratamiento (10) comprende al menos un dispositivo de bombeo (24) para bombear el gas de escape hacia la línea de tratamiento y alimentación (11);
y en donde dicho al menos un conducto de derivación (30) conecta un tramo de la línea de tratamiento y alimentación (11), situado entre dicha al menos una unidad de calentamiento o reformado (12) y dicho reactor (1), con un tramo de la línea de recuperación y tratamiento (10) situado entre dicho reactor (1) y dicho al menos un dispositivo de bombeo (24).
- 35 5. Un sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la línea de tratamiento y alimentación (11) comprende al menos una unidad de calentamiento o reformado (12) y al menos un dispositivo de inyección (4), dispuesto en dirección descendente de dicha unidad de calentamiento o reformado (12) y adaptada para inyectar oxígeno al flujo de gas de proceso;
- 40 en donde la línea de recuperación y tratamiento (10) comprende al menos un intercambiador de calor (21) para enfriar el gas de escape que sale del reactor (1), al menos una unidad de lavado (38) para lavar el gas de escape, adaptada para lavar el gas de escape con agua de lavado y para separar el gas de escape del agua de lavado, al menos una unidad de condensación (22), dispuesta en dirección descendente de dicha unidad de lavado (38), para retirar el agua del gas de escape, y al menos un dispositivo de bombeo (24) para bombear el gas de escape hacia la línea de tratamiento y alimentación (11); preferiblemente en donde dicha unidad de lavado (38) y dicha unidad de condensación (22) están fusionadas en una única unidad;
- 45 en donde dicho al menos un conducto de derivación (30) conecta un tramo de la línea de tratamiento y alimentación (11) situada entre dicha al menos una unidad de calentamiento o reformado (12) y el reactor (1), en dirección descendente o ascendente de dicho al menos un dispositivo de inyección (4), con un tramo de la línea de recuperación y tratamiento (10), situado entre la unidad de lavado (38) y la unidad de condensación (22).
- 50

6. Un sistema según la reivindicación 5, en donde al menos una segunda válvula de regulación (33) está adaptada para regular el paso del gas de escape desde la unidad de lavado (38) hacia la unidad de condensación (22), o, cuando dicha unidad de lavado (38) y dicha unidad de condensación (22) están fusionadas en una sola unidad, está adaptada para regular el paso del gas de escape desde dicha unidad única hacia el dispositivo de bombeo (24).
- 5 7. Un sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la línea de tratamiento y alimentación (11) está conectada en dirección ascendente tanto con la línea de recuperación y tratamiento (10) como con al menos una fuente externa (26) de gas reductor de reposición.
8. Un sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se proporciona un dispositivo de regulación para regular la carga de óxidos de hierro, introducidos desde arriba en el reactor (1).
- 10 9. Un sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la línea de tratamiento y alimentación (11) comprende al menos una unidad de reformado (12) para reformar metano;
- en donde se proporciona una fuente externa (60) para alimentar CO_2 y H_2O en dirección ascendente de dicha unidad de reformado (12), y una respectiva válvula de regulación (58) para regular dicha alimentación de CO_2 y H_2O ;
- 15 y en donde dicho dispositivo de control (56) también está configurado para producir una cuarta señal (70) para controlar la válvula de regulación (58).
10. Un proceso para una reducción directa de óxidos de hierro, que se puede llevar a cabo mediante un sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el proceso las siguientes etapas:
- a) alimentar dicha mezcla de gases reductores al área de reducción (2) del reactor (1) mediante la línea de tratamiento y alimentación (11);
- 20 b) recuperar y tratar el gas de escape que sale del reactor (1) mediante la línea de recuperación y tratamiento (10) que comunica en dirección descendente con dicha línea de tratamiento y alimentación (11);
- en donde se proporciona una desviación de al menos una porción de la mezcla de gases reductores desde dicha línea de tratamiento y alimentación (11) a dicha línea de recuperación y tratamiento (10) mediante al menos un conducto de derivación (30);
- 25 en donde se proporcionan las etapas de
- regular la al menos una porción de la mezcla de gases reductores que, mediante dicho al menos un conducto de derivación (30), alcanza la línea de recuperación y tratamiento (10), mediante dicha al menos una primera válvula de regulación (32);
 - regular el paso del gas de escape que sale del reactor (1) a lo largo de la línea de recuperación y tratamiento (10) mediante dicha al menos una segunda válvula de regulación (33);
 - controlar dicha al menos una primera válvula de regulación (32) y dicha al menos una segunda válvula de regulación (33) mediante dicho al menos un dispositivo de control (56);
- 30 y en donde dicho al menos un dispositivo de control (56) recibe una primera señal (64) indicativa de un caudal de descarga de HRD del reactor (1) y produce una segunda señal (66), para controlar al menos una primera válvula de regulación (32), y una tercera señal (68) para controlar al menos una segunda válvula de regulación (33).
- 35 11. Un proceso según la reivindicación 10, en donde se proporciona un enfriamiento de dicha al menos una porción de la mezcla de gases reductores a lo largo del conducto de derivación (30), mediante una unidad de enfriamiento (31).
- 40 12. Un proceso según la reivindicación 11, en donde durante una etapa operativa de pleno rendimiento, diferente de la etapa inicial, la temperatura de al menos una porción de la mezcla de gases reductores que entra en la unidad de enfriamiento (31) está en el intervalo de 850-960 °C, mientras que la temperatura de dicha al menos una porción de la mezcla de gases reductores que sale de la unidad de enfriamiento (31) está en el intervalo de 40-180 °C.
13. Un proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en donde se proporciona una regulación de la cantidad de óxidos de hierro cargados desde arriba en el reactor (1), en función de la cantidad de la mezcla de gases reductores introducida en el área de reducción (2).
- 45 14. Un proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en donde la regulación del paso de los gases de escape a lo largo de la línea de recuperación y tratamiento (10) se lleva a cabo desde una unidad de lavado (38) hacia una unidad de condensación (22), o, cuando dicha unidad de lavado (38) y dicha unidad de condensación (22) se fusionan en una sola unidad, desde dicha unidad única hacia un dispositivo de bombeo (24).

15. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en donde la desviación de al menos una porción de la mezcla de gases reductores ocurre desde un tramo de la línea de tratamiento y alimentación (11), situado entre al menos una unidad de calentamiento o reformado (12) y el reactor (1), a un tramo de la línea de recuperación y tratamiento (10) situado entre el reactor (1) y al menos un dispositivo de bombeo (24);
- 5 o en donde la desviación de al menos una porción de la mezcla de gases reductores ocurre desde un tramo de la línea de tratamiento y alimentación (11), situado entre el reactor (1) y una unidad de calentamiento o reformado (12), en dirección descendente de al menos al menos un dispositivo de inyección (4) situado en dirección descendente de dicha unidad de calentamiento o reformado (12) y adaptado para inyectar oxígeno en el flujo de gas de proceso,
- 10 a un tramo de la línea de recuperación y tratamiento (10) situada entre al menos una unidad de lavado (38) del gas de escape, adaptada para lavar el gas de escape con agua de lavado y para separar el gas de escape del agua de lavado, y al menos una unidad de condensación (22), situada en dirección descendente de dicha unidad de lavado (38), para retirar el agua del gas de escape;
- 15 o en donde, cuando dicha unidad de lavado (38) y dicha unidad de condensación (22) se fusionan en una sola unidad, la desviación de al menos una porción de la mezcla de gases reductores ocurre desde un tramo de la línea de tratamiento y alimentación (11), situada entre el reactor (1) y dicha unidad de calentamiento o reformado (12), en dirección descendente o ascendente de dicho al menos un dispositivo de inyección (4),
- a un tramo de la línea de recuperación y tratamiento (10) situada entre dicha unidad única (38) y un dispositivo de bombeo (24).

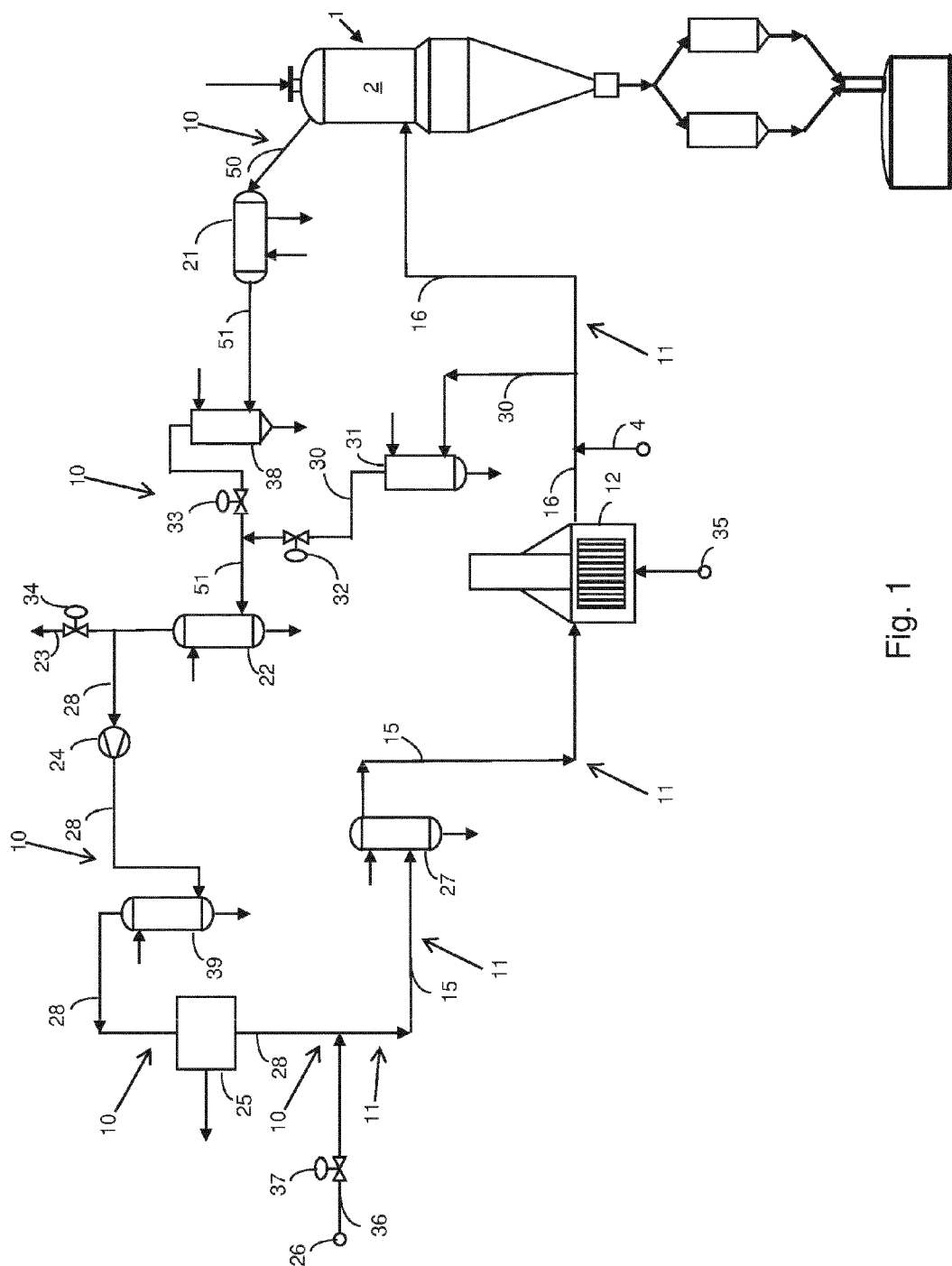


Fig. 1

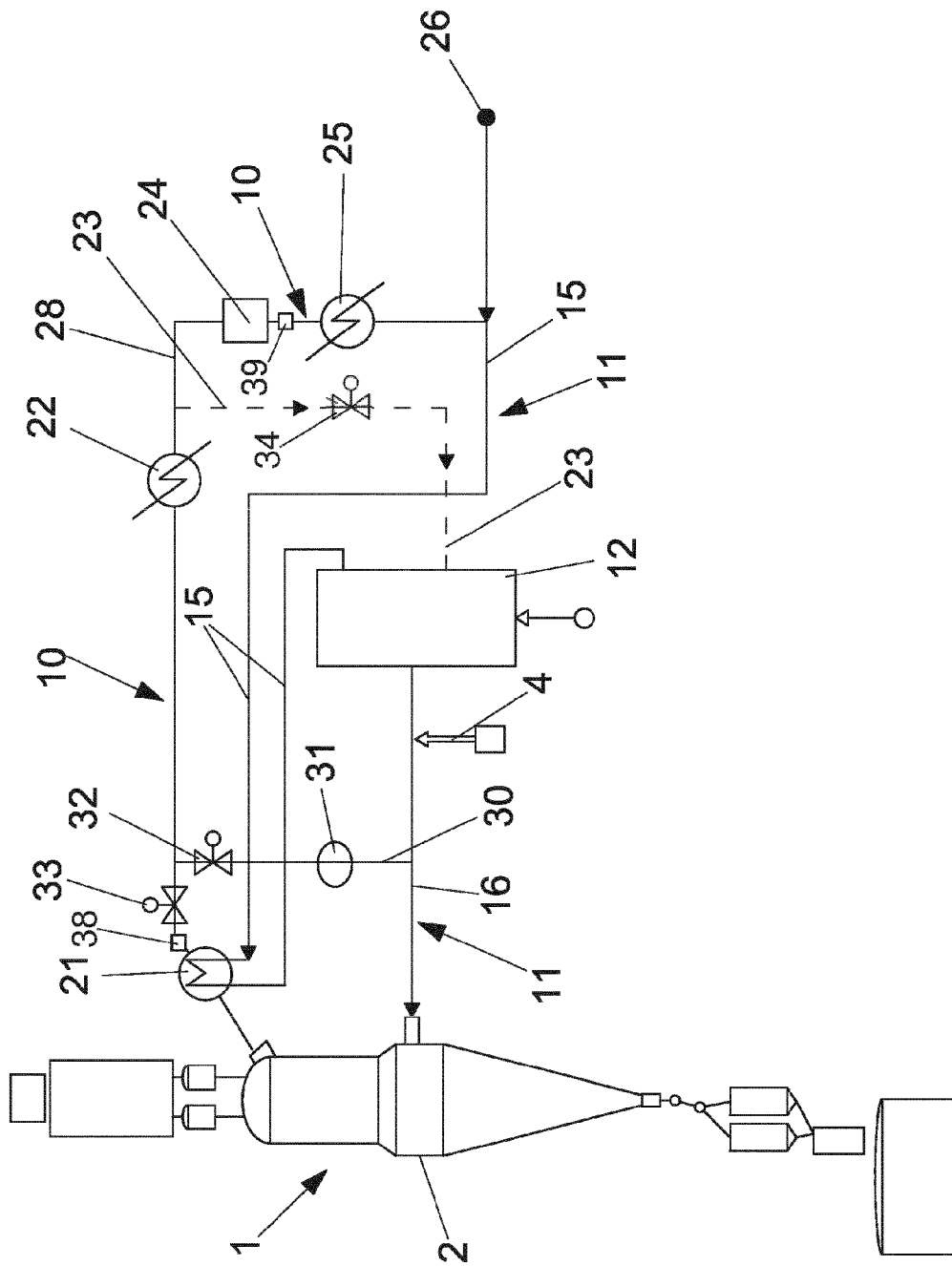


Fig. 2

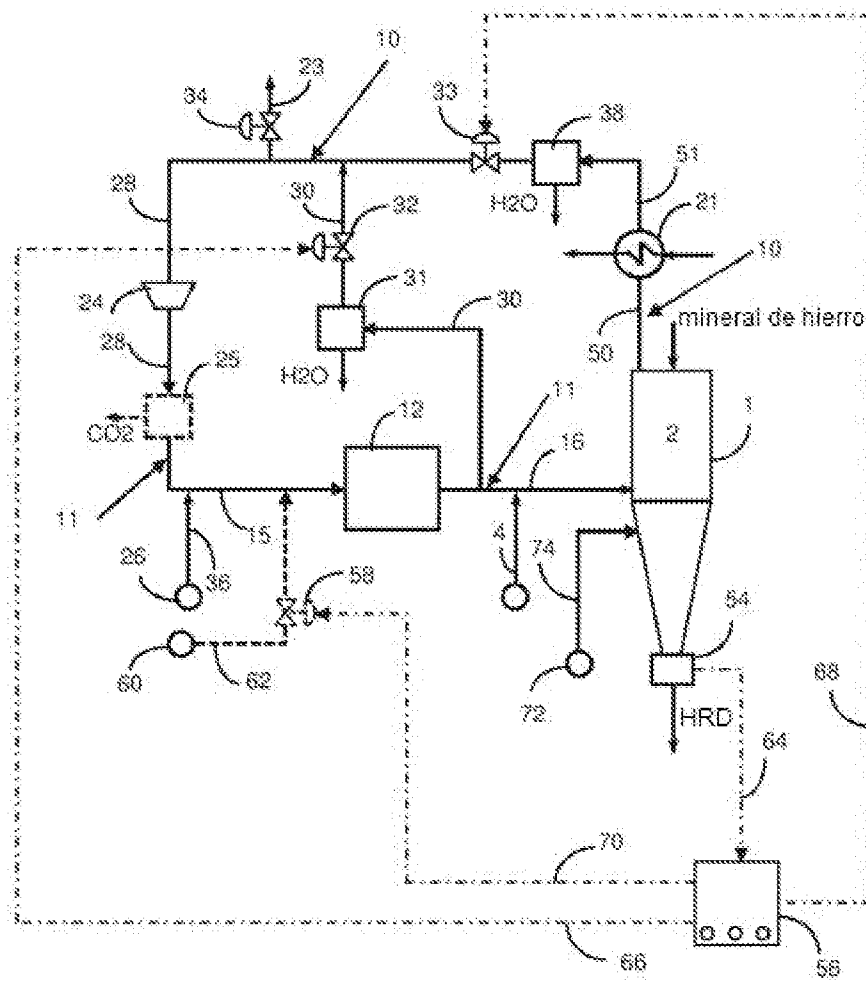


Fig. 3