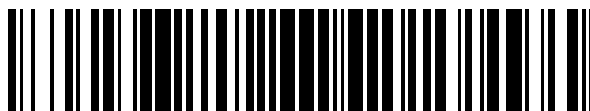


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 689 779**

51 Int. Cl.:

**C21B 13/00** (2006.01)  
**C01B 3/02** (2006.01)  
**C25B 1/04** (2006.01)  
**C21B 13/14** (2006.01)  
**C22C 37/00** (2006.01)  
**C22C 38/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.09.2013 PCT/EP2013/068726**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.03.2014 WO14040989**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.09.2013 E 13765312 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.07.2018 EP 2895631**

54 Título: **Procedimiento para producir acero con energía renovable**

30 Prioridad:

**14.09.2012 DE 102012108631**  
**28.09.2012 DE 102012109284**  
**19.04.2013 DE 102013104002**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**15.11.2018**

73 Titular/es:

**VOESTALPINE STAHL GMBH (100.0%)**  
**Voest-Alpine-Strasse 3**  
**4020 Linz, AT**

72 Inventor/es:

**SCHWAB, PETER;**  
**EDER, WOLFGANG y**  
**BÜRGLER, THOMAS**

74 Agente/Representante:

**ARPE FERNÁNDEZ, Manuel**

ES 2 689 779 T3

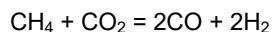
Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar 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

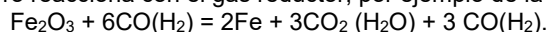
Procedimiento para producir acero con energía renovable

5 **[0001]** La invención se refiere a un procedimiento para producir acero según la reivindicación 1. La producción de  
 acero se lleva a cabo actualmente de diferentes modos. La producción de acero clásica tiene lugar a través de la  
 producción de arrabio en el proceso de alto horno a partir de materiales portadores de hierro predominantemente  
 10 oxídicos. En este procedimiento se consumen aproximadamente de 450 a 600 kg de reductor, principalmente coque,  
 por tonelada de arrabio, liberando este procedimiento cantidades muy considerables de CO<sub>2</sub>, tanto durante la  
 producción de coque a partir de carbón como durante la producción del arrabio. Además se conocen los, así  
 llamados, "procedimientos de reducción directa" (procedimientos correspondientes a las marcas MIDREX, FINMET,  
 ENERGIRON/HYL, etc.), en los que a partir de materiales portadores de hierro predominantemente oxídicos se  
 produce la esponja de hierro en forma de HDRI (*Hot Direct Reduced Iron* - hierro reducido directamente en caliente),  
 CDRI (*Cold Direct Reduced Iron* - hierro reducido directamente en frío) o del, así llamado, HBI (*hot briquetted iron* -  
 15 hierro aglomerado en caliente).

**[0002]** Además existen los, así llamados, procedimientos de reducción en fusión, en los que se combinan entre sí  
 el proceso de fusión, la producción de gas reductor y la reducción directa, por ejemplo procedimientos de las marcas  
 COREX, FINEX, HiSmelt o HiSama. Normalmente, las esponjas de hierro en forma de HDRI, CDRI o HBI se  
 someten a un proceso posterior en hornos eléctricos, lo que consume una enorme cantidad de energía. La reducción  
 20 directa se lleva a cabo mediante hidrógeno y monóxido de carbono a partir de metano y en caso dado gas de  
 síntesis. Por ejemplo, en el, así llamado, procedimiento MIDREX en primer lugar el metano se somete a la siguiente  
 reacción:



y el óxido de hierro reacciona con el gas reductor, por ejemplo de la siguiente manera:



25 **[0003]** Por lo tanto, este procedimiento también emite CO<sub>2</sub>.

**[0004]** Por el documento DE 198 53 747 C1 se conoce un proceso combinado para la reducción directa de  
 minerales finos, debiendo tener lugar la reducción con hidrógeno o con otro gas reductor en un lecho fluidizado  
 estacionario.

30 **[0005]** Por el documento DE 197 14 512 A1 se conoce una planta generadora con obtención de energía solar,  
 dispositivo de electrólisis y un proceso metalúrgico industrial, en donde este proceso industrial bien se refiere a la  
 producción metálica de aluminio a partir de bauxita, que implica un elevado consumo eléctrico, o bien ha de consistir  
 en un proceso metalúrgico con hidrógeno como reductor en la producción de metales no calientes, como wolframio,  
 molibdeno, níquel o similares, o en un proceso metalúrgico con hidrógeno como reductor utilizando el procedimiento  
 35 de reducción directa en la producción de metales férricos. Sin embargo, esto no se explica más detalladamente en  
 dicho documento.

**[0006]** Por el documento WO 2011/018124 se conocen procedimientos e instalaciones para poner a disposición  
 vectores energéticos a base de carbono que pueden ser almacenados y transportados, mediante el uso de dióxido  
 de carbono y mediante el uso de energía eléctrica renovable y de combustibles fósiles. En este proceso se prepara  
 40 una proporción de metanol producido de forma renovable y una proporción de metanol producido mediante energía  
 eléctrica no renovable y/o mediante reducción directa y/o mediante oxidación parcial y/o reforma. Los documentos  
 WO2011/116141, US2009/0249922, CN102424873 y US5454853 dan a conocer en todos los casos un  
 procedimiento según el preámbulo de la reivindicación 1, en el que se reduce mineral de hierro con hidrógeno y el  
 producto intermedio de mineral de hierro reducido así obtenido se procesa metalúrgicamente, en el que el hidrógeno  
 45 se produce mediante electrólisis de agua, en el que la energía eléctrica necesaria para la electrólisis es energía  
 renovable procedente de energía hidráulica y/o energía eólica y/o tecnología fotovoltaica o de otras formas de  
 energía renovable. Todos los procedimientos para la producción de acero conocidos hasta la fecha tienen la  
 desventaja de carecer de un concepto de producción sostenible y completa a base de recursos renovables para la  
 producción de acero a escala industrial.

50 El objetivo de la invención consiste en crear un procedimiento con el que se pueda producir arrabio, en particular  
 acero neutro en CO<sub>2</sub>, a escala industrial.

Este objetivo se resuelve con un procedimiento con las características indicadas en la reivindicación 1. En las  
 reivindicaciones subordinadas se caracterizan perfeccionamientos ventajosos.

De acuerdo con la invención, en un procedimiento para la producción de acero mineral de hierro se reduce con  
 55 hidrógeno, y el producto intermedio de mineral de hierro reducido así obtenido y en caso dado impurezas se  
 procesan metalúrgicamente, el hidrógeno está producido mediante electrólisis de agua, en el que la energía eléctrica  
 necesaria para la electrólisis consiste en energía renovable procedente de energía hidráulica y/o energía eólica y/o  
 tecnología fotovoltaica o de otras formas de energía renovable, en el que el hidrógeno y/o el producto intermedio,  
 independientemente de la demanda instantánea, siempre se producen cuando existe suficiente energía eléctrica  
 60 generada de forma renovable, y en el que el producto intermedio no demandado se almacena hasta su  
 demanda/utilización, de modo que la energía renovable acumulada en el mismo también se almacena, caracterizado  
 por que, en la reducción del mineral de hierro para obtener el producto intermedio, al hidrógeno se le añade un gas  
 que contiene carbono o hidrógeno para incorporar carbono en el producto intermedio, y por que al hidrógeno se le  
 añade para la reducción una cantidad de gas que contiene carbono o hidrógeno tal que el contenido de carbono en  
 65 el producto intermedio oscila entre el 0,0005% en masa y el 6,3% en masa, consistiendo el gas que contiene

carbono o hidrógeno en metano u otros gases portadores de carbono, gases procedentes de la producción de biogás o de la pirólisis de materias primas renovables o gas de síntesis de biomasa.

**[0007]** El procedimiento según la invención prevé utilizar energía eléctrica generada a partir de energía eólica, hidráulica o solar para producir hidrógeno a partir de agua por medio de la hidrólisis. Preferiblemente, en el lugar de la producción del hidrógeno se opera una planta de reducción directa en la que - también preferiblemente con energía eléctrica generada de este modo - se reducen minerales de hierro procesados. El producto intermedio así obtenido constituye un acumulador ideal de esta energía renovable y puede ser almacenado hasta su procesamiento posterior, y está accesible para cualquier forma de transporte a un dispositivo de procesamiento posterior, en particular cuando se requiere en este lugar. En particular, este producto intermedio se puede producir en el lugar de su origen en grandes cantidades, que sobrepasan la demanda instantánea, cuando está disponible una cantidad suficiente de la energía eléctrica correspondiente. Si esta energía no está disponible, hay cantidades suficientes del producto intermedio, y con ello también de la energía, para poder satisfacer la demanda.

**[0008]** Mediante la operación de un arco eléctrico correspondiente, también de forma preferible en particular completamente con energía procedente de energía eólica, hidráulica o solar, es posible llevar a cabo una producción de acero libre de CO<sub>2</sub> y además acumular energía renovable. Alternativamente, el producto intermedio también se puede utilizar en el alto horno o en procedimientos LD.

**[0009]** De acuerdo con la invención, el hidrógeno procedente de los procesos renovables con corrientes gaseosas que contienen carbono o hidrógeno, como por ejemplo CH<sub>4</sub>, se puede utilizar en una planta de reducción directa. La relación entre el hidrógeno procedente de los procesos renovables y las corrientes gaseosas que contienen carbono o hidrógeno se puede variar continuamente en función de la disponibilidad. Por ejemplo, en caso de presencia de mucho hidrógeno, éste se utiliza casi en un 100% para la reducción directa. El resto constituye la corriente mínima necesaria de gas que contiene carbono o hidrógeno para el ajuste de la proporción de carbono. No obstante, en caso necesario también se puede cambiar a corrientes gaseosas puras que contienen carbono o hidrógeno (biogás, gas de pirólisis de materias primas renovables).

**[0010]** No obstante, el procedimiento se lleva a cabo preferiblemente de tal modo que, en caso de presencia de energía renovable, mediante la misma se produce tanto hidrógeno como lo permita la energía presente, y este hidrógeno se utiliza para la reducción directa. De acuerdo con la invención, como corrientes gaseosas que contienen carbono o hidrógeno entran en consideración corrientes gaseosas de la producción de biogás y de la pirólisis de materias primas renovables.

**[0011]** El hidrógeno sobrante que no puede ser utilizado inmediatamente puede ser almacenado de forma intermedia.

Este almacenamiento intermedio del hidrógeno puede ser utilizado por ejemplo en un gasómetro y el ajuste de los contenidos de corrientes gaseosas que contienen carbono o hidrógeno puede tener lugar a través de un control de pronóstico. Este control de pronóstico puede medir la cantidad pronosticada/cantidad de generación de hidrógeno o de energía renovable, pero también por ejemplo previsiones meteorológicas para poder estimar la cantidad de generación de energía renovable. Además, en este control de pronóstico también pueden entrar previsiones de la demanda de otros consumidores externos, para utilizar óptimamente y del modo económicamente más conveniente la energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables.

**[0012]** Las temperaturas de la corriente de gas aquí reinantes se ajustan a valores de 450° C a 1.200° C, preferiblemente de 600° C a 1.200° C, en particular de 700° C a 900° C, por calentamiento mediante, por ejemplo, convertidores, calentadores u oxidación parcial, y después se introduce en el proceso de reducción directa para llevar a cabo allí una reacción química. La corriente de gas que sale del proceso de reducción directa también puede ser llevada de vuelta al proceso como corriente de gas que contiene carbono o hidrógeno.

**[0013]** Según la invención los posibles productos intermedios resultantes de este proceso son HBI, HDRI o CDRI.

**[0014]** En este contexto se ajustan sobrepresiones de 0 bar a 15 bar. Por ejemplo, en el procedimiento MIDREX son preferibles las sobrepresiones de aproximadamente 1,5 bar y en *Energiron* de aproximadamente 9 bar.

**[0015]** Durante la mezcla del hidrógeno producido de forma renovable con corrientes gaseosas que contienen carbono o hidrógeno, el contenido de carbono se puede ajustar idealmente, en concreto a valores del 0,0005% al 6,3%, preferiblemente del 1% al 3%, y puede estar incorporado en el producto intermedio directamente como C o como Fe<sub>3</sub>C. Un producto intermedio de este tipo está ajustado de un modo ideal en relación con el contenido de carbono y es especialmente adecuado para el procesamiento posterior, ya que aporta el contenido de carbono necesario para el proceso metalúrgico.

**[0016]** La invención se explica a modo de ejemplo por medio de un dibujo. En éste:

- la figura 1 muestra el procedimiento según la invención en una forma de realización ejemplar (horno de arco eléctrico) en un cuadro sinóptico;

- la figura 2 muestra el procedimiento según la invención en una segunda forma de realización ejemplar (procedimiento LD) en un cuadro sinóptico;

- la figura 3 muestra esquemáticamente los flujos de materiales y energía.

**[0017]** De acuerdo con la invención, la reducción de los materiales portadores de hierro predominantemente oxidados tiene lugar a través de hidrógeno y en caso dado como portadores de carbono o metano procedentes de procesos renovables, como la producción de biogás.

**[0018]** Como es sabido, la reducción de mineral de hierro puede tener lugar de tres modos:

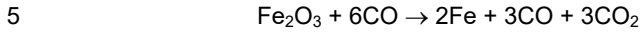
- Proceso de alto horno "clásico" - Producción de arrabio a partir de materiales portadores de hierro y reductores, sobre todo coque.

- Reducción directa - Por ejemplo MIDREX - esponja de hierro (HDRI, CDRI y HBI).

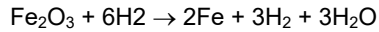
- Reducción en fusión - Combinación de proceso de fusión, producción de gas reductor y reducción directa, por ejemplo COREX o FINEX.

**[0019]** La reducción de mineral de hierro (hematites, óxido de hierro (III)) tiene lugar mediante:

Monóxido de carbono:



Hidrógeno:



**[0020]** En este contexto, el producto intermedio obtenido en el procedimiento de reducción directa puede consistir en el, así llamado, DRI (*direct reduced iron* - hierro reducido directamente), o HBI (*hot briquetted iron* - hierro aglomerado en caliente), que se puede fundir en acero en el horno de arco eléctrico correspondientemente a la figura 1, en caso dado añadiendo chatarra.

**[0021]** La figura 1 muestra además que el HDRI o el CDRI también pueden ser llevados directamente al horno eléctrico sin el "rodeo" de la producción de HBI.

**[0022]** De acuerdo con la invención, el HBI también se puede utilizar en otros procesos metalúrgicos aparte del horno de arco eléctrico, como por ejemplo en el proceso de alto horno o como sucedáneo de chatarra en el procedimiento LD.

**[0023]** En la figura 2 se muestra una forma de realización de este tipo. En este contexto se puede mencionar además que el CDRI o el HDRI también pueden ser llevados directamente al proceso de alto horno o al procedimiento LD.

**[0024]** En una forma de realización preferente, para compensar fluctuaciones de corta duración durante la generación de la energía renovable, ésta se puede almacenar en forma de hidrógeno si existe un exceso del mismo. Este almacenamiento puede tener lugar por ejemplo en un gasómetro. Un acumulador de este tipo se utiliza después en caso de fluctuaciones. Las fluctuaciones de corta duración se pueden producir de forma previsible, por ejemplo por la noche en sistemas de energía, o de forma imprevisible, como por ejemplo en generadores eólicos fluctuaciones de la fuerza del viento.

**[0025]** Las fluctuaciones de mayor duración, que se pueden producir, entre otras causas, debido a las diferentes estaciones del año, pueden tener lugar preferiblemente en la acumulación de energía en forma de HBI.

**[0026]** En caso necesario también se puede recurrir al uso de gases que contienen carbono o hidrógeno, como por ejemplo gas natural. Ventajosamente, de este modo se obtienen las posibilidades de uso óptimas de la energía renovable, ya que está puede ser utilizada continuamente en función de la disponibilidad de la forma de energía correspondiente, y la energía restante que falta se puede completar mediante otros vectores energéticos en caso necesario. De este modo, la emisión de CO<sub>2</sub> se puede reducir siempre al mínimo posible en ese momento mediante la utilización de fuentes de energía renovables.

**[0027]** Otra ventaja de la invención radica en la desvinculación física de los lugares de generación de energía renovable y los lugares de utilización de dicha energía. Por ejemplo, los sistemas de energía solar se construyen más bien en regiones cálidas con mucho sol y con mucho espacio, mientras que las acerías frecuentemente se encuentran en las cercanías de ríos o mares. Dado que la energía producida está almacenada por ejemplo en HBI, puede ser transportada con facilidad y eficacia.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento para la producción de acero, en el que se reduce mineral de hierro con hidrógeno, y el producto intermedio de mineral de hierro reducido así obtenido y en caso dado impurezas se procesan metalúrgicamente, el hidrógeno está producido mediante electrólisis de agua, en el que la energía eléctrica necesaria para la electrólisis consiste en energía renovable procedente de energía hidráulica y/o energía eólica y/o tecnología fotovoltaica o de otras formas de energía renovable, y en el que
- 10 - el hidrógeno y/o el producto intermedio, independientemente de la demanda momentánea, siempre se producen cuando existe suficiente energía eléctrica generada de forma renovable, y en el que el producto intermedio no demandado se almacena hasta su demanda/utilización, de modo que la energía renovable acumulada en el mismo también se almacena, caracterizado por que, en la reducción del mineral de hierro para obtener el producto intermedio, al hidrógeno se le añade un gas que contiene carbono o hidrógeno para incorporar carbono en el producto intermedio, y por que al hidrógeno se le añade para la reducción una cantidad de gas que contiene carbono o hidrógeno tal que el contenido de carbono en el producto intermedio oscila entre el 0,0005% en masa y el 6,3% en masa,
- 15 - consistiendo el gas que contiene carbono o hidrógeno en metano u otros gases portadores de carbono, gases procedentes de la producción de biogás o de la pirólisis de materias primas renovables o gas de síntesis de biomasa.
- 20 2. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que al hidrógeno se le añade para la reducción al menos una cantidad de gas que contiene carbono o hidrógeno tal que el contenido de carbono en el producto intermedio oscila entre el 1% en masa y el 3% en masa.
- 25 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el gas reductor de hidrógeno y en caso dado gas portador de carbono se introduce en el proceso de reducción con 450° C a 1.200° C, preferiblemente 600° C a 1.200° C, en particular 700° C a 900° C.
- 30 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la sobrepresión durante la reducción oscila entre 0 bar y 15 bar.
- 35 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la relación entre el hidrógeno procedente de la producción renovable y las corrientes gaseosas que contienen carbono o hidrógeno se varía continuamente en función de la disponibilidad, en el que, si existe suficiente energía renovable, se utiliza hidrógeno procedente de la producción con energía renovable y, en ausencia de energía regenerativa, se cambia a exclusivamente corrientes gaseosas que contienen carbono o hidrógeno.
- 40 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el ajuste de los contenidos de hidrógeno y/o de corrientes gaseosas que contienen carbono o hidrógeno en la corriente de gas total tiene lugar a través de un control de pronóstico, en el que con el control de pronóstico se mide la cantidad pronosticada/cantidad de generación de hidrógeno y/o de energía renovable y/o las corrientes gaseosas que contienen carbono o hidrógeno procedentes de la producción de biogás o de la pirólisis de materias primas renovables y/o en la estimación de energía renovable pueden entrar previsiones meteorológicas, pudiendo entrar también previsiones de la demanda de otros consumidores externos, con lo que la energía eléctrica de fuentes renovables se puede distribuir óptimamente y del modo más económico posible.
- 45 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la corriente de gas emitida por la planta de reducción directa como gas de escape se conduce al proceso como corriente de gas que contiene carbono o hidrógeno.
- 50

Fig. 1

Producción de acero a partir de energía renovable en el ejemplo de un horno eléctrico

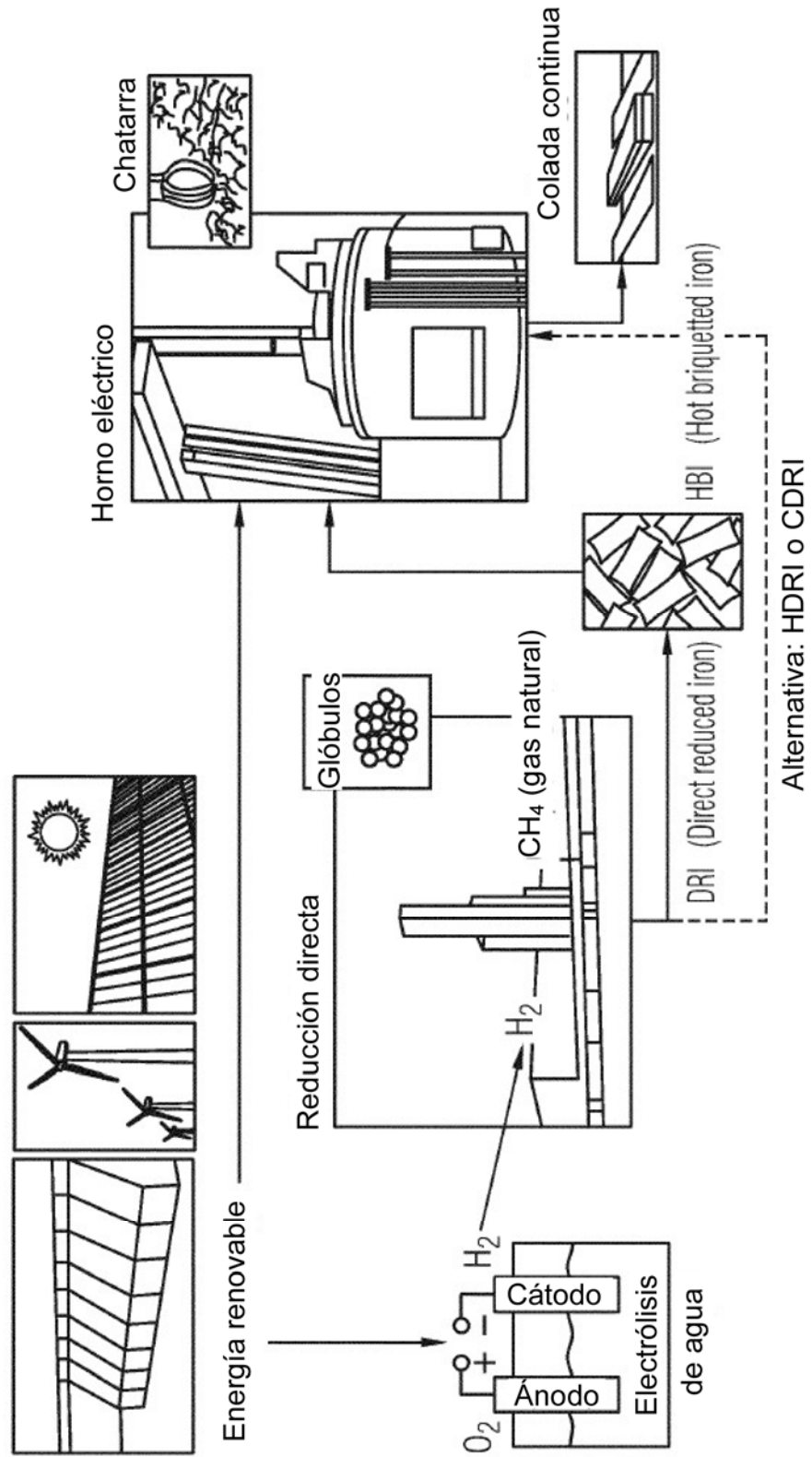


Fig. 2

Producción de acero a partir de energía renovable en el ejemplo de un alto horno/LD

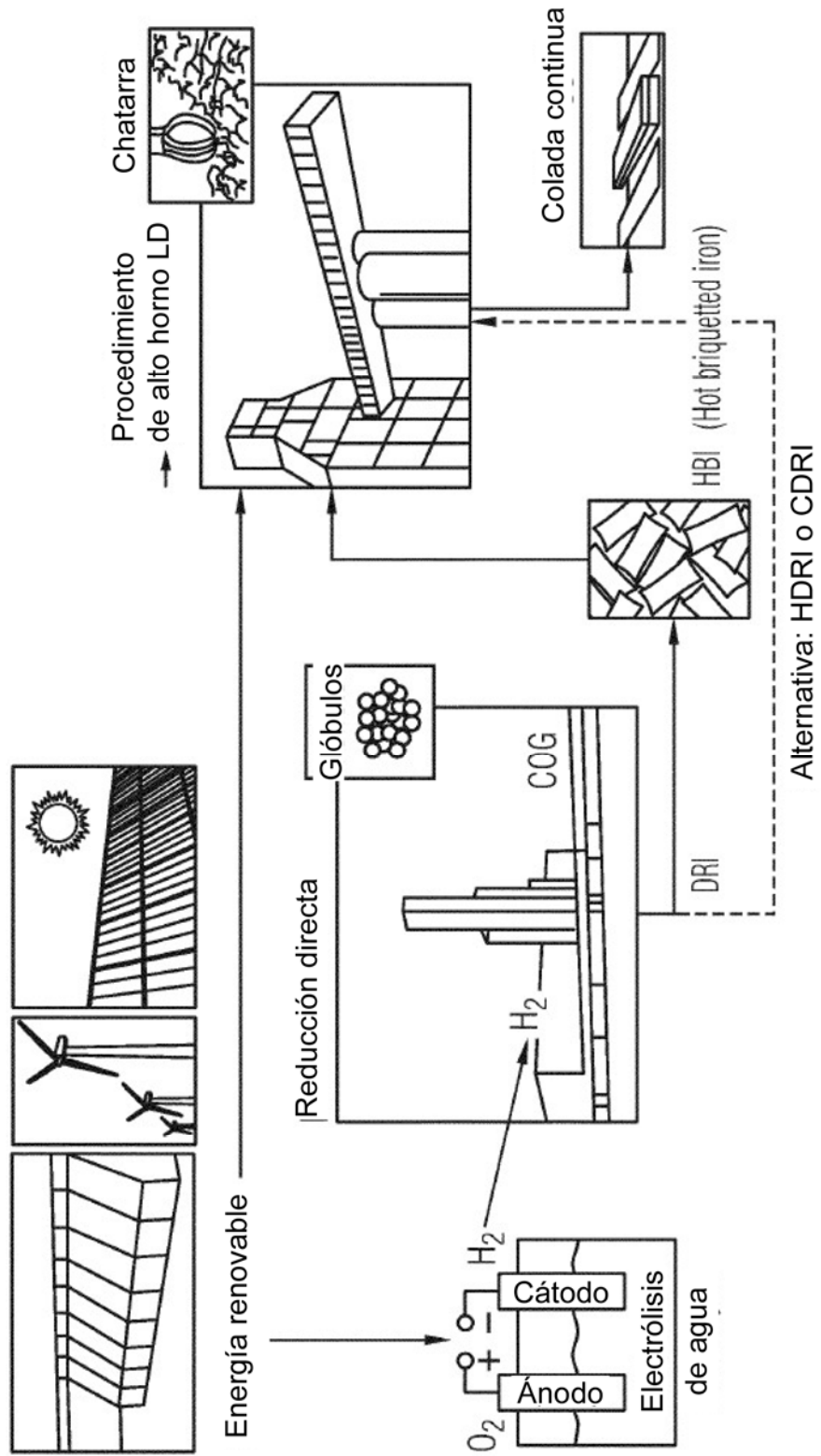
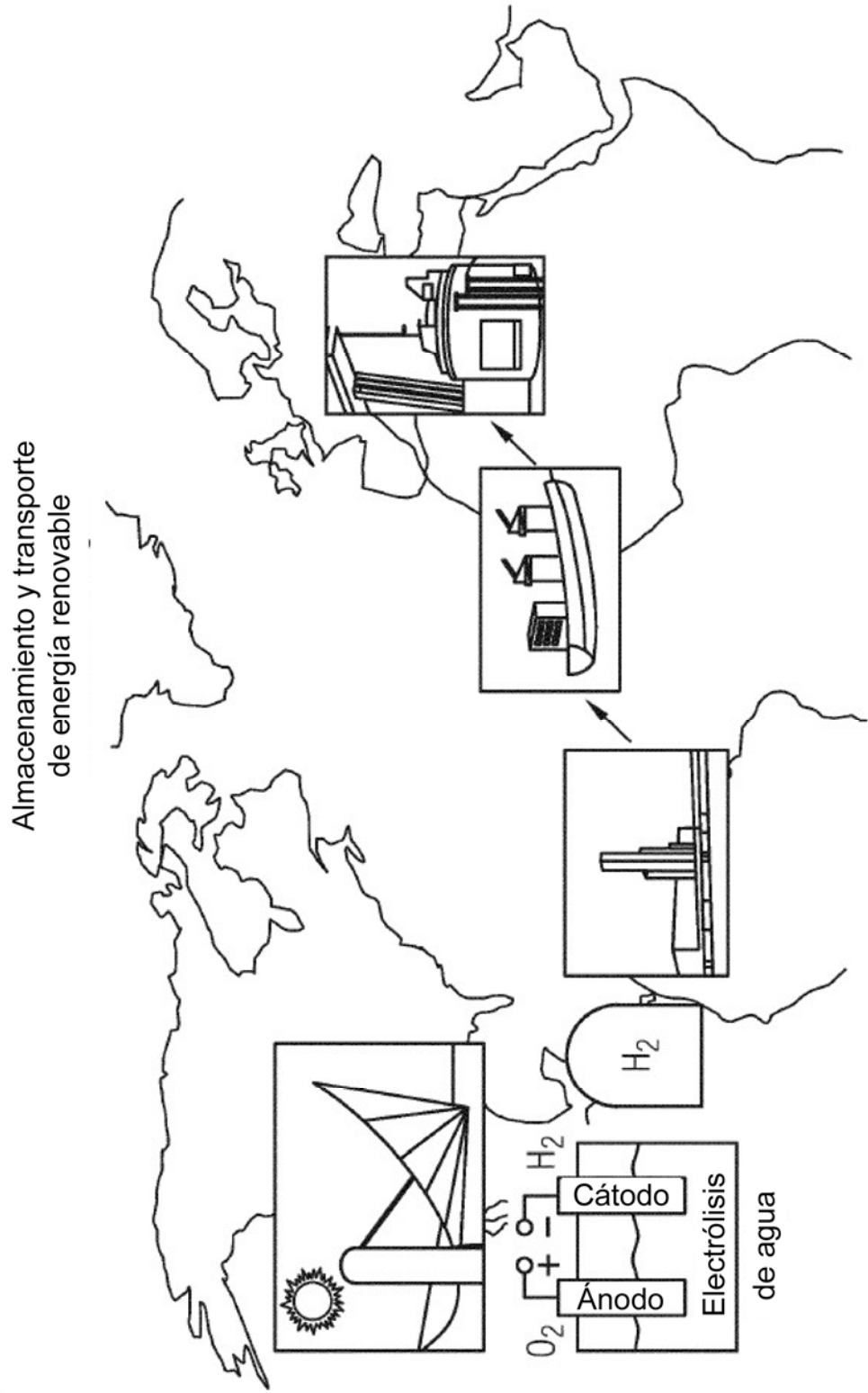


Fig. 3





**REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN**

5 La lista de referencias citada por el solicitante lo es solamente para utilidad del lector, no formando parte de los documentos de patente europeos. Aún cuando las referencias han sido cuidadosamente recopiladas, no pueden excluirse errores u omisiones y la OEP rechaza toda responsabilidad a este respecto.

**Documentos de patente citados en la descripción**

- DE 19853747 C1 [0004]
- DE 19714512 A1 [0005]
- WO 2011018124 A [0006]
- WO 2011116141 A [0006]
- US 20090249922 A [0006]
- CN 102424873 [0006]
- US 5454853 A [0006]

10