

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 796 362**

51 Int. Cl.:

C10L 5/48 (2006.01)

C10L 5/40 (2006.01)

C10L 5/36 (2006.01)

C21B 5/00 (2006.01)

C21B 5/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.06.2017 E 17176660 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.03.2020 EP 3418400**

54 Título: **Proceso de fabricación de arrabio en un alto horno usando gránulos que contienen materiales termoplásticos y celulósicos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.11.2020

73 Titular/es:

**SUBCOAL INTERNATIONAL B.V. (100.0%)
Siebengewaldseweg 24
5854 PC Nieuw-Bergen, NL**

72 Inventor/es:

JENNISSEN, LARS

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 796 362 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Proceso de fabricación de arrabio en un alto horno usando gránulos que contienen materiales termoplásticos y celulósicos

5 Campo técnico

La invención se refiere a un proceso para fabricar arrabio en un alto horno.

10 Antecedentes

El proceso de alto horno (BF) es el medio más común para producir metal crudo, también llamado arrabio. Dentro de la estructura cilíndrica masiva del BF, el coque puede usarse como fuente de calor y como agente reductor en la fusión del mineral de hierro.

15 El mineral de hierro y el coque pueden cargarse en el alto horno desde la parte superior en capas alternas, y se alimenta aire caliente al horno desde toberas en la base del horno para generar monóxido de carbono a partir del coque. El calor de esta reacción y el monóxido de carbono se están usando para reducir y derretir el mineral de hierro. El arrabio y la escoria que se producen se eliminan a intervalos a través de una salida en la base del horno.

20 El coque de alto horno es un material clave para la fabricación de hierro BF, que actúa como una fuente principal de energía (combustible), un reductor, un agente de carburación y un soporte estructural permeable. El consumo de coque es el parámetro para el consumo de coque BF que se mide en kilogramos de coque BF consumido por tonelada de metal caliente producido. Un alto horno eficiente funciona a un bajo consumo de coque.

25 La inyección de agentes reductores auxiliares ha sido en las últimas dos décadas una forma de disminuir el consumo de coque.

30 Actualmente, las empresas siderúrgicas generalmente inyectan carbón pulverizado a nivel de las toberas del alto horno. La denominada Inyección de Carbón Pulverizado (PCI) es un proceso en base al concepto de aire primario (denominado "gas de transporte") que transporta carbón pulverizado que puede inyectarse a través de una lanza a la tobera (entrada por el fondo de un alto horno), y luego se mezcla con aire caliente secundario (denominado "chorro") que se suministra a través de un soplete en la tobera y luego se canaliza a un horno para crear una cavidad en forma de globo llamada "zona de turbulencia", que luego propaga la combustión de carbón y coque y derrite el mineral de hierro sólido, liberando hierro fundido. Las temperaturas de la llama en la zona de combustión, es decir, la zona de turbulencia, son en general de 2.000-2.300 °C cuando funciona con inyección de carbón pulverizado (PCI).

40 Para un funcionamiento óptimo del alto horno usando PCI, es un requisito necesario asegurar que casi todo el contenido del carbón que se inyecta se gasifique lo más rápido posible y lo mejor posible dentro de la tobera y la zona de turbulencia; de lo contrario, podría afectar negativamente la permeabilidad del BF. La cantidad de carbón que puede inyectarse depende de la calidad de carbón y de coque, la geometría del horno y las prácticas operativas. Además, los carbones pulverizados tienen una baja densidad aparente y malas características de almacenamiento. Una desventaja principal del carbón pulverizado es el hecho de que proviene de una fuente no renovable.

45 El carbón pulverizado no es el único agente reductor que se usa en el alto horno. Los residuos plásticos de diferente origen pueden usarse en lugar de coque y carbón pulverizado. El plástico que se inyecta se descompone para formar gas reductor (CO + H₂) que se eleva a través de las materias primas en el horno y reacciona con el mineral de hierro. Cuando se usan plásticos, el hidrógeno contribuye a la reacción de reducción. Una ventaja de usar plásticos en general es que tienen una baja conductividad térmica y la tasa de transferencia de calor en una zona de turbulencia es extremadamente alta.

Ejemplos de dicho uso se describen, por ejemplo, en los documentos US5772727 y US6230634, y EP-A-1236790.

55 Una desventaja del uso de residuos plásticos es que tales mezclas que se originan, por ejemplo, de residuos domésticos, urbanos o municipales son productos relativamente valiosos que pueden usarse para fabricar productos plásticos (reciclados). Una desventaja adicional es que, a pesar de un alto poder calorífico, los gránulos de residuo plástico son menos eficientes que el carbón pulverizado para reducir el óxido de hierro en hierro en el sentido de mantener la temperatura requerida en la zona de turbulencia y la cantidad requerida de agente reductor.

60 La entrega de residuos plásticos a un horno puede variar según la naturaleza del material de desecho y el tipo de horno que se suministra. Existen tres formas de usar los residuos plásticos en las tecnologías de fabricación de hierro: gasificación y posterior inyección de gas reductor que se genera; incrustación en materias primas (gránulos autorreductores, compuestos, mezclas de carbón para la fabricación de coque, combustible para sinterizar); uso directo por inyección a través o al nivel de las toberas. En este último, los plásticos sólidos se someten a un procesamiento mecánico y/o térmico y más adelante se recuperan en forma de aglomerados, granulados, gránulos, etcétera, que luego se reducen (pulverizan) al tamaño de partícula requerido en una trituradora y luego se emplean en

el horno (Babich y otros. Use of charcoal, biomass and waste plastics for reducing CO2 emission in ironmaking in Proceedings / METEC InSteelCon 2011 Düsseldorf, Alemania, Düsseldorf).

5 El documento DE-A-2935544 describe el uso de todo tipo de residuos triturados y biomasa como reemplazo de PCI en un alto horno.

10 El documento WO 2008/107042 enseña que los residuos de celulosa/plástico pueden usarse en un alto horno cuando se trituran. La fracción de celulosa del combustible es neutral en CO₂ y, por lo tanto, ayuda a reducir las emisiones de CO₂ de estos hornos. El documento WO 2015/155193 describe la molienda conjunta de gránulos con carbón para encender un horno industrial, en particular para la generación de electricidad.

Los desechos alternativos tienen problemas con el transporte, el almacenamiento y el procesamiento, y no se usan en la práctica.

15 Por lo tanto, existe la necesidad en el campo de un proceso en el que pueda suministrarse otro agente reductor en un alto horno, preferiblemente con mayor eficiencia que los residuos plásticos.

Resumen de la invención

20 La presente invención se realizó a la vista de la técnica anterior descrita anteriormente, y el objetivo de la presente invención es proporcionar un proceso de fabricación de acero en un alto horno con un agente reductor con una mejor eficiencia que con los residuos plásticos.

25 La invención se refiere al uso de gránulos que comprenden uno o más materiales termoplásticos de más del 40 %, en base al peso seco total de los gránulos y uno o más materiales celulósicos de más del 20 %, en base al peso seco total de los gránulos, como agente reductor en un proceso para hacer arrabio en un alto horno.

El proceso de fabricación de arrabio en un alto horno de acuerdo con la invención comprende las etapas de:

- 30 a) cargar el alto horno con mineral de hierro y coque;
b) inyectar un agente reductor en el alto horno al nivel de una o más toberas en la zona de turbulencia del alto horno;
c) alimentar aire caliente en la zona de turbulencia del alto horno,

35 en donde el alto horno se carga además con gránulos como agente reductor y de suministro de energía, dichos gránulos comprenden:

- uno o más materiales termoplásticos de más del 40 % en peso, en base al peso seco total de los gránulos; y
- uno o más materiales celulósicos de más del 20 % en peso, en base al peso seco total de los gránulos

40 d) y obtener arrabio en el fondo del alto horno.

En una modalidad, los gránulos se proporcionan en el mecanismo de alimentación superior junto con el mineral de hierro y el coque como reemplazo parcial del coque.

45 En otra modalidad, que puede combinarse con la primera modalidad, dicho agente reductor de la etapa (b) comprende dichos gránulos

50 Un objetivo de la presente invención es proporcionar un proceso mejorado del BF cuando se usa material residual como agente reductor. El objetivo de esta invención se cumple utilizando un agente reductor que comprende material celulósico y termoplástico que se suministra al BF en forma de gránulos sin que estos se muelan. Al suministrar directamente los gránulos a un alto horno no hay necesidad de una unidad de pulverización adicional antes del suministro al BF.

55 Era inesperado que usando gránulos con un poder calorífico inferior al de los gránulos de plástico completos, un alto horno pudiera funcionar de manera más eficiente que cuando se usan gránulos de plástico completos. En particular, se muestra que se obtiene una mayor cantidad de gas reductor de los gránulos de acuerdo con las invenciones. También se muestra que la temperatura en la zona de turbulencia se influye menos que con gránulos de plástico completos

60 Los gránulos tienen propiedades ventajosas sobre el polvo o los aglomerados debido a su grosor, almacenamiento y transporte, y mejores propiedades de dosificación. En particular, la forma esférica y los poros abiertos de los gránulos proporcionan una permeabilidad mejor y uniforme, lo que da como resultado un funcionamiento más uniforme del horno y una reducción más rápida. Los gránulos tienen una resistencia al aplastamiento en frío muy alta, lo que da como resultado una generación insignificante de finos en el almacén y una buena resistencia a la desintegración durante el transporte.

65 A diferencia de los gránulos de residuos plásticos completos, que pueden usarse para producir productos como tal,

las mezclas plástico/celulósica de los gránulos para usar en la invención no pueden usarse como tales para la producción de productos. Por lo tanto, reciclar a través de la fabricación del arrabio parece un método económico y técnicamente atractivo.

- 5 Otros beneficios y ventajas de la presente invención serán evidentes en la descripción detallada con referencia apropiada a los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

- 10 La Figura 1 ilustra un área de equilibrio en la zona de turbulencia en un alto horno.

Descripción detallada

- 15 Las descripciones a continuación tienen la intención de ser ilustrativas y en ningún caso deben considerarse como limitantes. Será evidente para el experto en la técnica que las modalidades alternativas y equivalentes de la invención pueden concebirse y reducirse en la práctica, sin apartarse del alcance de las reivindicaciones que se exponen a continuación.

- 20 Una modalidad de la invención se refiere al uso de gránulos que comprenden uno o más materiales termoplásticos de más del 40 %, en base al peso seco total de los gránulos y uno o más materiales celulósicos de más del 20 %, en base al peso seco total de los gránulos, como agente reductor en un proceso para hacer arrabio en un alto horno.

En una modalidad adicional de la presente invención, se proporciona un proceso de fabricación de arrabio en un alto horno, dicho proceso comprende las etapas de:

- 25 a. cargar el alto horno con mineral de hierro y coque;
b. inyectar un agente reductor en el alto horno al nivel de una o más toberas en la zona de turbulencia del alto horno;
c. alimentar aire caliente en la zona de turbulencia del alto horno; y

- 30 en donde el alto horno se carga además con gránulos como agente reductor y de suministro de energía, dichos gránulos comprenden:
– uno o más materiales termoplásticos de más del 40 %, en base al peso seco total de los gránulos; y
– uno o más materiales celulósicos de más del 20 %, en base al peso seco total de los gránulos.

- 35 En una modalidad preferida, dichos gránulos se proporcionan como un reemplazo parcial de coque a través de la parte superior del alto horno.

En otra modalidad preferida, que puede combinarse con otras modalidades preferidas, dichos gránulos se proporcionan como agente reductor en la etapa (b).

- 40 El término "alto horno" se refiere a un alto horno de cualquier geometría.

- 45 Por el término "material termoplástico" se entiende polímeros termoplásticos. El material termoplástico de la presente invención comprende al menos 40 % de material termoplástico, preferiblemente al menos 45 % en peso o al menos 50 % en peso de material termoplástico, como por ejemplo aproximadamente 55 % en peso o aproximadamente 60 % en peso de material termoplástico.

- 50 Generalmente, la cantidad de material plástico en los gránulos es aproximadamente 80 % o menos, preferiblemente 70 % o menos. Por lo tanto, los intervalos adecuados comprenden 40-80 % en peso de plástico, o 50-70 % en peso de plástico.

- 55 Los ejemplos de polímeros termoplásticos que se usan en la presente descripción se enumeran en el documento US 2010/0116181. Normalmente, el material o componente termoplástico puede ser un material de embalaje o cualquier tipo de residuo plástico.

- Preferiblemente, al menos 20 % en peso, más preferiblemente al menos 40 % en peso, incluso más preferiblemente al menos 50 % en peso, y lo más preferiblemente al menos 60 % en peso del material termoplástico son homopolímeros o copolímeros de polietileno.

- 60 El término "material celulósico" que se usa en la presente descripción se refiere, por ejemplo, a papel, cartón, madera, cartoncillos, textiles tales como algodón, rayón y/o viscosa. El material celulósico de la presente invención comprende al menos 20 % en peso de material celulósico, preferiblemente más de 25 % en peso o más de 30 % en peso de material celulósico. Generalmente, la cantidad de material celulósico es de aproximadamente 60 % en peso o menos, preferiblemente de aproximadamente 50 % en peso o menos de material celulósico en base al peso seco total de los gránulos. Los intervalos adecuados incluyen 20-60 % en peso de material celulósico, preferiblemente 30-50 % en peso de material celulósico. El material celulósico también puede denotarse como biomasa.

5 Como se usa en la presente descripción, el término "gránulo" o "gránulos" se usa cuando se refiere a gránulos de la presente invención que comprenden uno o más materiales termoplásticos y uno o más materiales celulósicos. Los gránulos no se limitan por un grado de falta de homogeneidad. Los gránulos de la presente invención pueden ser los gránulos Subcoal® (SP) disponibles comercialmente.

Los procesos adecuados para hacer gránulos se describen en la técnica, como por ejemplo en el documento US6635093.

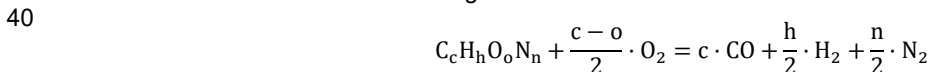
10 Los gránulos tienen un intervalo de tamaño uniforme (diámetro) generalmente dentro de un intervalo de 6-20 mm. La longitud de los gránulos generalmente estará entre 4 y 50 mm.

15 El poder de calentamiento o poder calorífico o poder de calentamiento calorífico de cualquier combustible es la energía que se libera por unidad de masa o por unidad de volumen del combustible cuando el combustible se quema por completo. La cantidad se determina devolviendo todos los productos de la combustión a la temperatura de precombustión original y, en particular, condensando cualquier vapor que se produce. En otras palabras, es la cantidad de calor que se libera durante la combustión completa de una cantidad específica de este.

20 La calorimetría mide el poder de calentamiento superior (HHV) y usa el siguiente procedimiento. Combustiona completamente la muestra usando oxígeno puro y luego produce dióxido de carbono y agua. El agua se produce inicialmente como vapor. Sin embargo, una vez que se combustiona toda la muestra (es decir, se completa la prueba), el vapor de agua se condensa. Este proceso de condensación libera calor adicional. Técnicamente, este calor adicional es calor latente de la conversión de agua de una fase de vapor a una fase líquida. La combinación del calor que se libera durante la combustión de la muestra y el calor posterior que se libera durante la conversión de vapor de agua a líquido proporciona el calor máximo que puede obtenerse. Esto se conoce como poder calorífico superior (HCV, 'Higher calorific value') o poder de calentamiento superior (HHV, 'Higher heating value').

25 Si el proceso mantiene el agua que se produce en estado de vapor, entonces el calor latente no se recupera. Esto se conoce como el poder calorífico inferior (LCV, 'lower calorific value') o el poder de calentamiento inferior (LHV, 'Lower heating value'). El LHV es solo el calor de la combustión y no incluye el calor que se libera durante la condensación del vapor de agua. LHV es la medida clave para la mayoría de los sistemas de combustión que convierten el calor en potencia o energía.

30 El HHV y el LHV son válidos para la combustión completa del combustible a CO₂ y H₂O. El poder de calentamiento calorífico de una sustancia en la zona de turbulencia de un alto horno se determina por la alta actividad de carbono del coque. Por consiguiente, no es posible una oxidación completa de un combustible a CO₂ y H₂O. El óxido más estable en esta condición es el CO. Para esta condición, el poder de calentamiento para combustión incompleta HVIC es adecuado. La ecuación de combustión incompleta de un componente de combustible que contiene C, H, O y N en la zona de turbulencia se da de la siguiente manera:



en la que las minúsculas c, h, o y n denotan la cantidad relativa de los elementos respectivos en la fórmula

45 Se ha encontrado que los gránulos de la presente invención tienen un mayor consumo de sustitución de coque que los plásticos (residuales). El factor importante para esto es la diferencia en el poder de calentamiento de combustión incompleta (HVIC) que determina la temperatura de la llama. Sin embargo, otro factor es la composición del agente reductor, y en particular la cantidad de hidrógeno y oxígeno.

50 El poder calorífico (LCV) de los gránulos es generalmente de aproximadamente 22-28 GJ/tonelada, que es inferior al material plástico completo, que generalmente tiene un poder calorífico de 31-35 GJ/tonelada (en peso seco).

Sin embargo, los gránulos generalmente tienen un poder de calentamiento para combustión incompleta mayor que los materiales plásticos completos.

55 En una modalidad preferida, los inventores descubrieron que el proceso puede usar gránulos que tienen un poder de calentamiento para combustión incompleta (HVIC) en el intervalo de aproximadamente 6 a aproximadamente 7 MJ/kg. El material plástico completo generalmente tiene un HVIC inferior a aproximadamente 6 MJ/kg.

60 Los gránulos se soplan en la zona de turbulencia de un alto horno a una temperatura de llama adiabática en el intervalo de aproximadamente 1900 °C a aproximadamente 2500 °C y un volumen de aire en el intervalo de 1280-2000 Nm³/kg*1000.

65 Un aspecto adicional de la invención se refiere al proceso en donde el contenido de oxígeno de los gránulos está en el intervalo de 20 a 30 % en peso de los gránulos de peso seco.

Un aspecto adicional de la invención se refiere al proceso en donde el contenido de hidrógeno de los gránulos está en el intervalo de 6 a 8 % en peso de los gránulos de peso seco.

5 Un objeto adicional de la invención es proporcionar un proceso en donde se usa una cantidad de gránulos, que está en el intervalo de 10-250 kg gránulos por tonelada de metal caliente, preferiblemente aproximadamente 20-200 kg gránulos por tonelada de metal.

Otro aspecto es el proceso en donde los gránulos comprenden del 1 al 10 % en peso de humedad.

10 Ciertos elementos que pueden ingresar al alto horno por diferentes fuentes tienen una influencia negativa en el funcionamiento del alto horno. Los metales pesados como el zinc, el plomo, el cadmio y el mercurio se encuentran en concentraciones muy bajas en los diferentes materiales de entrada en comparación con los elementos principales como el hierro. Otro grupo de elementos que se consideran críticos para el funcionamiento son los metales alcalinos, potasio y sodio. Estos elementos también pueden formarse de manera similar al zinc y conducir un ciclo interno en el alto horno. Este enriquecimiento alcalino conduce a la formación de acumulación en la pared del horno y ataca a los materiales refractarios. Estas acumulaciones se forman principalmente en interacción con el carbono y el zinc. Los elementos halógenos como el cloro y el flúor también son elementos críticos. La entrada elevada de estos elementos conduce a la corrosión en el sistema de limpieza de gases secos y húmedos y, además, a la emisión de cloro y flúor con el agua de drenaje del depurador de gases superior.

20 El material granulado de acuerdo con la invención, en particular los granulados hechos de los materiales que se describen, es adecuado para su uso como agente reductor y como fuente de energía en un alto horno en forma sin moler.

25 **Ejemplos**

En lo sucesivo, la presente invención se describe de manera más detallada y específica con referencia a los Ejemplos, que sin embargo no pretenden limitar la presente invención.

30 La Tabla 1 contiene el análisis químico y los poderes caloríficos LCV, HCV y HVIC de carbono puro, hidrógeno puro, monóxido de carbono puro y el carbón de inyección pulverizado (carbón PCI), residuos plásticos (WP) y gránulos Subcoal® (SP). Estos resultados muestran que la clasificación de los combustibles de acuerdo con LCV y HCV no se correlaciona con la clasificación de los combustibles de acuerdo con el HVIC y que SP tiene un mayor HVIC de gránulos de plástico completos.

35

Combustible (w% peso seco)	Carbono (C)	Hidrógeno (H ₂)	Monóxido de carbono (CO)	Metano (CH ₄)	Carbón-PCI	Residuos plásticos (WP)	Gránulos Subcoal (SP)
C	100,0	0,0	42,9	74,9	81,1	73,0	51,8
H	0,0	100,0	0,0	25,1	4,1	9,0	7,3
O	0,0	0,0	57,1	0,0	2,0	10,0	27,2
N	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,5	0,5
Agua	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	1,0	3,8
Ceniza	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	6,0	9,4
LCV kJ/kg	32,763	119,960	10,102	50,027	31,489	33,746	27,900
HCV kJ/kg	32,763	141,789	10,102	55,513	31,384	35,865	29,494
HVIC kJ/kg	9,204	0	0	2,240	7,464	5,751	6,939

Tabla 1. Análisis químico y los poderes caloríficos LCV, HCV y HVIC de los combustibles carbono puro, hidrógeno puro, monóxido de carbono puro, carbón de inyección pulverizado (carbón PCI), residuos plásticos (WP) y gránulos Subcoal (SP).

40

Se ha establecido un modelo de balance de masa y energía para calcular la temperatura teórica de la llama y el cambio del consumo de coque específica para diferentes casos de prueba.

La Figura 1 ilustra una zona de turbulencia de equilibrio de acuerdo con la invención. Aquí, los componentes gaseosos del gas de la zona de turbulencia son CO, H₂ y N₂. Los componentes de la escoria de la zona de turbulencia son óxidos metálicos (en el balance se considera la no reducción de óxidos a metales). La temperatura del gas de la zona de turbulencia y la escoria de la zona de turbulencia es la misma y representa la temperatura de llama teórica (consulte la descripción a continuación). Además, la temperatura de chorro caliente es de 1200 °C, la temperatura de coque es de 1600 °C, la temperatura del PCI es de 70 °C y la temperatura de plásticos y SP es de aproximadamente 20 °C.

La Tabla 2 contiene los parámetros que se variaron para los casos que se realizan en la tobera del alto horno. El caso comparativo A se usa para evaluar la temperatura de llama teórica y el consumo de coque en la zona de turbulencia sin ningún aditivo en la zona de turbulencia. En la prueba comparativa B, se usa carbón en polvo, que refleja el procesamiento de un alto horno de una manera convencional. El experimento comparativo C refleja la cantidad máxima de residuo plástico que puede usarse sin disminuir significativamente la temperatura de la llama. El experimento comparativo D refleja un caso normal, donde el carbón en polvo se combina con gránulos de plástico, para lograr una reducción en el carbón, mientras se mantiene una temperatura adecuada en la zona de turbulencia. Los experimentos I-IV de acuerdo con la invención representan casos para el funcionamiento de un alto horno. Los experimentos I y II son, respectivamente, una mezcla de 75 %/25 % y 50/50 de SP y PCI. El experimento III usa una inyección total de 180 kg de SP. El experimento IV es un funcionamiento con PCI (140), residuos plásticos (20) y SP (7,8).

Experimento	Tasa de PCI (kg/tonelada de metal caliente)	Tasa de residuos plásticos (kg/tonelada de metal caliente)	Tasa de SP (kg/tonelada de metal caliente)	Contenido de O ₂ en el chorro (% en volumen)
A	0	0	0	21
B	180	0	0	27
C	0	120	0	27
D	140	40	0	27
I	135	0	45	27
II	90	0	90	27
III	0	0	180	27
IV	140	20	7,8	27

Tabla 2. Parámetros de los experimentos calculados.

La siguiente Tabla 3 muestra el análisis del experimento.

El cambio del consumo de coque específica en la zona de turbulencia en comparación con el experimento comparativo A (sin agente reductor adicional en la zona de turbulencia) se muestra en la Tabla 3. El uso de carbón en polvo permite la reducción del consumo de coque de casi el 50 %. La cantidad máxima de residuos plásticos (120 kg/h) permite una reducción, pero la temperatura de la llama está cerca del límite inferior de 2100. Puede realizarse un proceso decente con el caso D, 140 kg/h de PCI y 40 kg/h de residuos plásticos. El Ejemplo I es en gran medida comparable con el experimento D, y muestra que el uso de los gránulos de la invención permite una temperatura más alta en la zona de turbulencia, lo cual es una clara ventaja. Los Ejemplos II y III muestran que es posible un procesamiento estable, incluso con cantidades sustancialmente mayores de SP. El Ejemplo IV muestra que con cantidades menores y/o mezclas con residuos plásticos, es posible un funcionamiento perfecto.

ES 2 796 362 T3

	A	B	C	D	I	II	III	IV
Consumo de coque por tobera (kg/hora)	2215	1134	1836	1220	1344	1553	1971	1304
Consumo específico de coque (kg/tonelada de metal caliente)	221	113	184	122	134	156	197	130
Cambio de consumo de coque específico (kg/tonelada de metal	0	-108	-37	-99	-87	-65	-24	-91
Aumentar al experimento comparativo A	0%	-49%	-17%	-45%	-39%	-29%	-11%	-41%
Temperatura teórica de la llama	2374	2212	2136	2153	2179	2148	2088	2197

Tabla 3. Consumo de coque calculado de los diferentes casos de prueba y temperatura de la zona de turbulencia calculada.

REIVINDICACIONES

1. Proceso de fabricación de arrabio en un alto horno, dicho proceso comprendiendo las etapas de:
 - a) cargar el alto horno con mineral de hierro y coque;
 - b) inyectar un agente reductor en el alto horno al nivel de una o más toberas en la zona de turbulencia del alto horno;
 - c) alimentar aire caliente en la zona de turbulencia del alto horno, en donde el alto horno se carga además con gránulos en forma no molida como agente reductor y de suministro de energía, dichos gránulos comprendiendo:
 - uno o más materiales termoplásticos de más del 40 % en peso, en base al peso en seco total de los gránulos; y
 - uno o más materiales celulósicos de más del 20 % en peso, en base al peso en seco total de los gránulos
 - d) y obtener arrabio en el fondo del alto horno.
2. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en donde los gránulos se proporcionan en la alimentación superior junto con el mineral de hierro y el coque como reemplazo parcial del coque.
3. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en donde dicho agente reductor en la etapa (b) comprende dichos gránulos.
4. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el agente reductor tiene un poder calorífico para combustión incompleta (HVIC) que se calcula con la fórmula:

$$C_c H_h O_o N_n + \frac{C - O}{2} \cdot O_2 = c \cdot CO + \frac{h}{2} \cdot H_2 + \frac{n}{2} \cdot N_2$$
 en el intervalo de aproximadamente 6 a aproximadamente 7 MJ/kg.
5. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el contenido de oxígeno de los gránulos está en el intervalo de 20 a 30 % en peso de los gránulos de peso en seco.
6. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el contenido de hidrógeno de los gránulos está en el intervalo de 7 a 8 % en peso de los gránulos de peso en seco.
7. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el poder calorífico (LCV) de los gránulos es de 22-28 GJ/tonelada.
8. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se usa una cantidad de gránulos de aproximadamente 50-200 kg gránulos por tonelada de metal caliente.
9. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los gránulos comprenden del 1 al 10 % en peso de humedad.
10. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los gránulos comprenden:
 - uno o más materiales termoplásticos en una cantidad de 40-70 % en peso, en base al peso en seco total de los gránulos; y
 - uno o más materiales celulósicos de más del 30-50 % en peso, en base al peso en seco total de los gránulos.
11. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los gránulos tienen un diámetro de entre 6 y 20 mm y una longitud de entre 4 y 50 mm.
12. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la zona de turbulencia se mantiene a una temperatura de llama adiabática en el intervalo de aproximadamente 1.900 °C a aproximadamente 2.500 °C y volumen de aire en el intervalo de 1.280 - 2.000 Nm³/kg*1.000.
13. El uso de gránulos que comprenden uno o más materiales termoplásticos de más del 40 %, en base al peso seco total de los gránulos y uno o más materiales celulósicos de más del 20 %, en base al peso en seco total de los gránulos, como un agente reductor en un proceso para fabricar acero en un alto horno, en donde los gránulos se usan en una forma sin moler.
14. El uso de acuerdo con la reivindicación 13, en donde los gránulos tienen características de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 4 a la 11.
15. El uso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 13 y 14 en donde se usa una cantidad de gránulos

de aproximadamente 25-250 kg gránulos por tonelada de metal caliente.

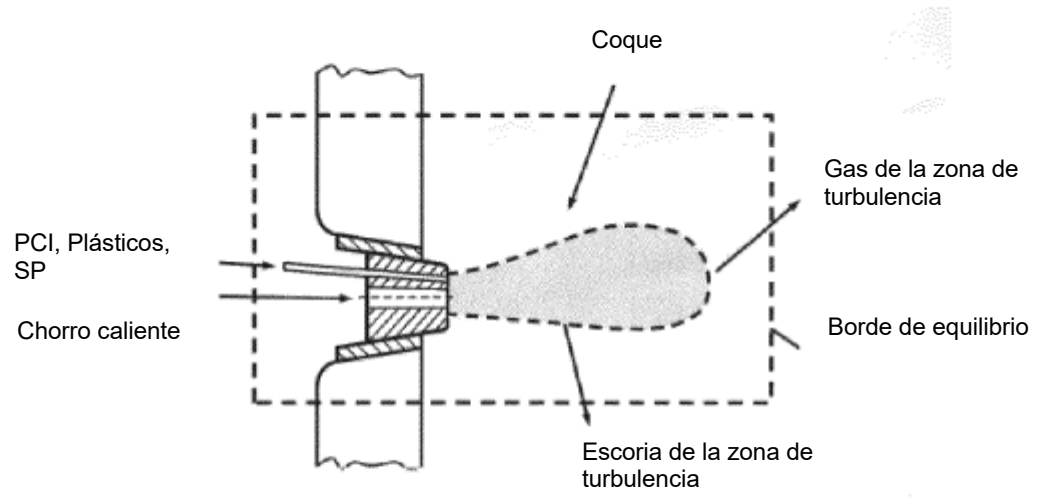


Figura 1