

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 368 707**

51 Int. Cl.:
C21B 13/10 (2006.01)
C21B 11/08 (2006.01)
C21B 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02726417 .5**
96 Fecha de presentación: **15.05.2002**
97 Número de publicación de la solicitud: **1435395**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.07.2004**

54 Título: **HIERRO METÁLICO GRANULAR.**

30 Prioridad:
15.05.2001 JP 2001145566

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
21.11.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
21.11.2011

73 Titular/es:
KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO
10-26, WAKINOHAMA-CHO 2-CHOME, CHUO-KU
KOBE-SHI, HYOGO 651-8585, JP

72 Inventor/es:
ITO, Shuzo;
TANIGAKI, Yasuhiro;
KOBAYASHI, Isao;
TSUGE, Osamu;
HONDA, Keisuke;
TOKUDA, Koji y
KIKUCHI, Shoichi

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 368 707 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

Hierro metálico granular

- 5 La presente invención se refiere a pepitas de hierro metálico producidas mediante la reducción por fusión de un material con contenido en óxido de hierro, tal como mineral de hierro, y un agente reductor carbonoso, tal como coque, teniendo las pepitas de hierro metálico una alta pureza de Fe, unos contenidos de C, S, Si, y Mn especificados, y un diámetro especificado.
- 10 Un proceso de producción de hierro directo para la producción de hierro reducido mediante la reducción directa de una fuente de óxido de hierro tal como mineral de hierro usando una sustancia carbonosa o un gas reductor se ha conocido desde hace mucho tiempo. Se ha llevado a cabo una investigación exhaustiva en lo concerniente a los detalles específicos del proceso de reducción y del equipo de reducción continua.
- 15 Por ejemplo, la publicación de solicitud de patente de Japón no examinada con n.º 11-337264 da a conocer un crisol giratorio que permite la producción continua y eficiente de hierro reducido, en la que, durante la reducción mediante calentamiento de gránulos verdes que se preparan solidificando una mezcla de una fuente de óxido de hierro tal como polvo de producción de acero o mineral fino y una sustancia carbonosa usando un aglutinante, se evitan las explosiones que tienen lugar cuando se calientan rápidamente gránulos verdes no secos debido a la instalación de una zona precalentada.
- 20 En la tecnología, incluyendo la tecnología que se describe anteriormente, para la producción de hierro metálico mediante el calentamiento y la reducción de cuerpos compactos con contenido en una fuente de óxido de hierro y un agente reductor, una cantidad considerable de un componente de escoria se mezcla en el hierro metálico resultante debido al uso del mineral de hierro o similar. En particular, en un procedimiento para la producción de hierro metálico esponjoso, la pureza de Fe es drásticamente baja debido a que la separación del componente de escoria que se mezcló en el hierro metálico es difícil. Por lo tanto, se requiere un tratamiento preliminar para eliminar esta cantidad considerable de componente de escoria cuando estos materiales se usan a modo de fuente de hierro. Además, casi todo el hierro metálico que se obtiene mediante un proceso de producción de hierro directo conocido tiene forma de esponja, y por lo tanto el manejo del mismo a modo de fuente de hierro es difícil debido a que tal hierro metálico es frágil. A fin de usar realmente tal hierro metálico a modo de material para la producción de hierro, acero, o acero de aleación, se requiere un proceso tal como un proceso secundario para hacer briquetas a partir del mismo, y el coste del equipo adicional para el mismo es considerable.
- 25 En la publicación de solicitud de patente de Japón no examinada con n.º 9-256017 da a conocer un procedimiento para la producción de pepitas de hierro metálico que tiene una alta proporción de metalización, incluyendo el procedimiento el calentamiento y la reducción de cuerpos compactos con contenido en óxido de hierro y un agente reductor carbonoso hasta que se forma una funda de hierro metálico y sustancialmente no hay óxido de hierro presente en la parte interior a la vez que se forman pepitas de la escoria producida en la parte interior, se continúa el calentamiento con el fin de permitir que la escoria en el interior fluya al exterior de la funda de hierro metálico con el fin de separar la escoria, y se realiza un calentamiento adicional con el fin de fundir la funda de hierro metálico.
- 30 La publicación de solicitud de patente de Japón no examinada con n.º 9-256017 da a conocer un procedimiento para la producción de pepitas de hierro metálico que tiene una alta proporción de metalización, incluyendo el procedimiento el calentamiento y la reducción de cuerpos compactos con contenido en óxido de hierro y un agente reductor carbonoso hasta que se forma una funda de hierro metálico y sustancialmente no hay óxido de hierro presente en la parte interior a la vez que se forman pepitas de la escoria producida en la parte interior, se continúa el calentamiento con el fin de permitir que la escoria en el interior fluya al exterior de la funda de hierro metálico con el fin de separar la escoria, y se realiza un calentamiento adicional con el fin de fundir la funda de hierro metálico.
- 35 Negami, T.: *"Itmk3-Premium Ironmaking process for the new Millenium"* DIRECT FROM MIDREX [en línea] marzo de 2001 (03-2001), páginas 7 a 9, XP002318285 CHARLOTTE, NC, los Estados Unidos describe un proceso de producción de hierro para la producción de pepitas de hierro metálico, en el que la fusión se produce después de la reducción y el FeO residual es de menos de un 2 por ciento.
- 40 Kobayashi I, y col.: *"A new process to produce iron directly from fine mineral and coal"* IRON STEELMAKER (I AND SM) septiembre de 2001, vol. 28, n.º 9, páginas 19 a 22, XP002318286 describe un proceso de producción de hierro innovador que puede producir pepitas de hierro directamente a partir de mineral fino y carbón.
- 45 El documento JP-11-241111 A describe la producción de un hierro metálico, en la que el hierro metálico se produce mediante la reducción por calentamiento del cuerpo formado con contenido en el agente reductor carbonoso y el óxido de hierro.
- 50 El documento EP 1 167 547 A describe un procedimiento para la producción de pepitas de hierro metálico con un alto rendimiento y una buena productividad.
- 55 En los procesos conocidos, incluyendo estas técnicas convencionales, para la producción de pepitas de hierro metálico, no se ha establecido ninguna tecnología capaz de producir eficientemente un hierro metálico que tenga un diámetro dentro de un intervalo predeterminado a la vez que se tiene en cuenta completamente la calidad y la conveniencia de manejo de materiales para la producción de hierro, acero, o aleación de hierro. En lo concerniente a la pureza de las pepitas de hierro metálico, a pesar de que naturalmente se prefieren pepitas de hierro metálico de alta pureza con un bajo contenido en contaminantes, no se ha formulado ninguna idea específica para especificar el contenido en carbono óptimo en las pepitas de hierro metálico que se usan como el material para la producción de
- 60
- 65

hierro y para la producción de acero. Además, no se ha establecido ninguna tecnología de manufacturación específica para el control del contenido en carbono dentro de un intervalo predeterminado.

Además, cuando se hace hierro metálico reduciendo óxido de hierro tal como mineral, en general se usa a modo de agente reductor coque o un polvo de carbón. No obstante, estos agentes reductores tienen normalmente un alto contenido en azufre (S). Debido a que el agente reductor se mezcla en el hierro metálico producido, las pepitas de hierro metálico resultantes tienen normalmente un alto contenido en S. En consecuencia, las pepitas de hierro metálico deben someterse a desulfuración antes de que se usen realmente como el material para la producción de hierro o acero. Éste es también uno de los principales motivos para la degradación de la calidad de las pepitas de hierro metálico.

En consecuencia, a fin de producir pepitas de hierro metálico de alto valor mediante un proceso de reducción por fusión, no es suficiente tener meramente esperanzas de aumentar la pureza. Se requiere que se determine una tecnología que pueda producir de forma fiable hierro metálico, en la que se especifique el contenido en contaminantes, tal como un contenido en azufre, y se optimice el tamaño del mismo a la vista de la posibilidad de producción y de la calidad de manejo, y también que la tecnología sea capaz de satisfacer las demandas del mercado tales como una mayor flexibilidad en cuanto a la elección de material para la producción de hierro, acero, o diversos aceros de aleación, y a una reducción en el coste que se requiere para la producción de hierro o acero usando, por ejemplo, un horno eléctrico.

La presente invención se desarrolla basándose en los antecedentes descritos anteriormente. Un objeto de la presente invención es proporcionar pepitas de hierro metálico de una calidad estable que tienen un tamaño óptimo a la vista de la posibilidad de producción global y de la calidad de manejo a modo de fuente de hierro, y en la que se especifica el contenido en contaminantes de las pepitas de hierro metálico, tal como carbono y contenidos en azufre. Las pepitas de hierro metálico de la presente invención pueden por lo tanto satisfacer las demandas del mercado tales como una mayor flexibilidad en cuanto a la elección de material para la producción de hierro metálico y a una reducción del coste que se requiere para la producción de hierro o acero usando, por ejemplo, un horno eléctrico.

Divulgación de la invención

Las pepitas de hierro metálico de la presente invención, que vencen los problemas descritos anteriormente, son pepitas de hierro metálico tal como se caracterizan en la reivindicación 1. Las pepitas de hierro metálico se hacen mediante la reducción por fusión de un material con contenido en un agente reductor carbonoso y un material con contenido en óxido de hierro.

Las pepitas de hierro metálico de la presente invención no necesitan ser esféricas. Se incluyen también en las pepitas de hierro metálico de la presente invención aquellas sustancias granulares que tengan una forma elíptica, una forma oval, y formas ligeramente deformadas de las mismas. El diámetro de las pepitas, que varía de 1 a 30 mm, se determina dividiendo el total de las longitudes del eje mayor y el eje menor y de los espesores máximo y mínimo de una pepita por 4.

Preferentemente, las pepitas de hierro metálico incluyen además de un 0,02 a un 0,50 % de Si y menos de un 0,3 % de Mn.

Las pepitas de hierro metálico se preparan calentando el material con el fin de hacer reaccionar un óxido de metal contenido en el material con el agente reductor carbonoso y un gas reductor producido por una reacción de este tipo y con el fin de reducir el óxido de metal en el estado sólido, y calentando adicionalmente el hierro reducido resultante en una atmósfera reductora con el fin de carburar y fundir el hierro reducido resultante y permitir que el hierro reducido se adhiera a la vez que se evita cualquiera de los productos secundarios de tipo escoria. Durante este proceso, se añade una fuente de CaO al material para ajustar la basicidad de los componentes de escoria en el material, es decir, CaO/SiO₂, dentro del intervalo de 0,6 a 1,8. De esta forma, el contenido en azufre en el material puede capturarse eficientemente mediante la escoria producida durante la reducción por fusión, y pueden obtenerse unas pepitas de hierro metálico que tienen un contenido en S de un 0,08 % o menos.

La cantidad del agente reductor carbonoso se ajusta de tal modo que el contenido en carbono restante durante la etapa de la reducción por fusión del material está en el intervalo de un 1,5 a un 5,0 % cuando la proporción de metalización de las pepitas de hierro metálico después de la reducción en sólido es de un 100 %. De esta forma, el contenido resultante en carbono puede controlarse dentro del intervalo descrito anteriormente.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista esquemática a modo de explicación que muestra un ejemplo de un equipo de reducción por fusión para la producción de pepitas de hierro metálico de la presente invención.

La figura 2 es una vista en sección transversal tomada a lo largo de la línea A-A en la figura 1.

La figura 3 es una vista en sección transversal a modo de explicación en la que la figura 1 se desarrolla en la dirección longitudinal.

La figura 4 es una gráfica que muestra las transiciones de la temperatura de la atmósfera, de la temperatura de los cuerpos compactos para material, la proporción de reducción, y de la cantidad de gases de CO y CO₂ a través de un periodo de reducción en sólido y de un periodo de fusión cuando se emplea un proceso de calentamiento en dos fases en la presente invención.

La figura 5 es una gráfica que muestra las transiciones del contenido en Fe residual y de la proporción de metalización del óxido de metal en los cuerpos compactos para material a través del periodo de reducción en sólido y del periodo de fusión.

La figura 6 es una gráfica que muestra la relación entre el contenido en carbono residual en el hierro reducido cuando la proporción de metalización es de un 100 % y el contenido en carbono residual del producto final de pepitas de hierro metálico.

La figura 7 es una gráfica que muestra la relación entre la proporción de metalización y el grado de reducción.

La figura 8 es una gráfica que muestra un cambio en el grado de reducción de un gas de la atmósfera y en la temperatura del interior de los cuerpos compactos para material cuando se usa un polvo de carbón a modo de agente de ajuste de la atmósfera y cuando no se usa el polvo de carbón a modo de agente de ajuste de la atmósfera.

La figura 9 es una fotografía que muestra el estado del hierro metálico y de la escoria inmediatamente después de la carburación y fusión que se obtiene mediante un experimento de manufacturación.

La figura 10 es una gráfica experimental que muestra que el contenido en azufre de las pepitas de hierro metálico puede disminuirse ajustando la basicidad de la escoria añadiendo de forma intencionada una fuente de CaO a unos cuerpos compactos para material.

La figura 11 es una gráfica que muestra la relación entre el contenido en azufre de las pepitas de hierro metálico y la basicidad del producto de escoria.

La figura 12 es un diagrama a modo de explicación que muestra la composición del material, y la proporción y la composición de los productos tales como pepitas de hierro metálico producidas por un proceso de manufacturación que se emplean en el ejemplo.

La figura 13 es una fotografía de unas pepitas de hierro metálico preparadas en el ejemplo 1.

La figura 14 es un diagrama a modo de explicación que muestra la composición del material, y la proporción y la composición de los productos tales como pepitas de hierro metálico producidas por un proceso de manufacturación que se emplean en otro ejemplo.

La figura 15 es una fotografía de unas pepitas de hierro metálico preparadas en el ejemplo 2.

La figura 16 es una gráfica que muestra la relación entre el diámetro de los cuerpos compactos para material (gránulos secos) y un diámetro promedio y una masa promedio de las pepitas de hierro metálico producidas.

Las pepitas de hierro metálico de la invención son de hierro metálico granular producidas mediante la reducción por fusión de un material con contenido en un agente reductor carbonoso y un material con contenido en óxido de hierro. Las pepitas de hierro metálico contienen un 94 % o más (más preferentemente un 96 % o más) de Fe y de un 1,0 a un 4,5 % (más preferentemente de un 2,0 a un 4,0 %) de C. El contenido en S de las pepitas de hierro metálico es de un 0,20 % o menos, preferentemente, de un 0,08 % o menos, y el diámetro está en el intervalo de 1 a 30 mm (preferentemente de 3 a 20 mm). Los motivos para ajustar estos intervalos son tal como se indica a continuación.

El contenido en Fe de las pepitas de hierro metálico es el factor principal que controla la calidad de las pepitas de hierro metálico. Naturalmente, cuanto más alta es la pureza de Fe, es decir, cuanto más bajo es el contenido en contaminantes, mejor. En la presente invención, la pureza de Fe requerida es de un 94 % o más, y más preferentemente, de un 96 % o más. El motivo para esto es tal como se indica a continuación. Cuando se usan a modo de material para la producción de hierro y de acero unas pepitas de hierro metálico que tienen un contenido en contaminantes que supera un 5 %, el contenido en contaminantes en el material flota sobre la superficie de un baño y forma escoria, que es difícil de eliminar. Además, debido a que los elementos tales como S, Mn, Si, y P, que están disueltos en un acero fundido, afectan de forma adversa las propiedades físicas de los productos finales producidos usando el hierro metálico resultante, son necesarios procesos tales como desulfuración, desfosforación, y desilización durante una etapa de refinado. Estos tratamientos preliminares requieren un tiempo y un esfuerzo sustanciales. En consecuencia, el contenido en Fe de las pepitas de hierro metálico de la presente invención ha de ser de al menos un 94 %, y más preferentemente, de al menos un 96 %.

El contenido en C de las pepitas de hierro metálico es esencial a la hora de asegurar la cantidad de C requerida para adecuar la calidad del acero cuando se usa el hierro metálico a modo de material para la producción de acero, y es importante con el fin de aumentar la versatilidad como hierro para materiales. En consecuencia, el contenido en C de las pepitas de hierro metálico es de al menos un 1,0 %, y preferentemente, de al menos un 2,0 %. Cuando el hierro metálico contiene cantidades de carbono excesivas, la tenacidad y la resistencia al choque del acero o del acero de aleación producidos a partir de tal hierro metálico se ven afectadas de forma adversa, y por lo tanto el acero o acero de aleación se hace frágil. Por lo tanto, se hace necesario un proceso de descarburación tal como soplado durante el proceso de refinado. A fin de usar las pepitas de hierro metálico a modo de material para una producción de hierro y de acero sin impedimentos y que no se vea lastrada por estos procesos adicionales, el contenido en C ha de ser de un 4,5 % o menos, y preferentemente, de un 4,0 % o menos.

El azufre afecta de forma adversa las propiedades físicas del acero y se considera por lo tanto usualmente poco deseable, a pesar de que dicho azufre puede usarse para aumentar la mecanizabilidad de algunos tipos de calidad del acero. Las pepitas de hierro metálico de la invención que se usan a modo de material contienen un 0,20 % o menos, y preferentemente, un 0,08 % o menos de azufre. A fin de aumentar el intervalo aplicable de las pepitas de hierro metálico a modo de fuente de hierro de tal modo que las pepitas de hierro metálico pueden usarse en diversos procesos de producción de acero, el contenido en Si ha de estar en el intervalo de un 0,02 a un 0,2 %, y el contenido en Mn ha de ser de menos de un 0,3 %.

Las pepitas de hierro metálico de la invención que tienen los contenidos de C, S, Si, y Mn descritos anteriormente, son particularmente ventajosas cuando se comparan con el arrabio que se usa más comúnmente, producido usando altos hornos. El arrabio producido usando altos hornos en general contiene de un 4,3 a un 4,8 % de C, de un 0,2 a un 0,6 % de Si, y de un 0,3 a un 0,6 % de Mn, a pesar de que los contenidos de C, S, Mn, Si, y similares en el arrabio producido usando un alto horno varían de acuerdo con el tipo de óxido de metal y coque que se usa en su interior, las condiciones de funcionamiento, y similares. Especialmente en la producción de hierro en alto horno, el hierro metálico fundido producido se carbura en la parte inferior del alto horno en una atmósfera muy reductora en presencia de una gran cantidad de coque; en consecuencia, el contenido en C está casi saturado. Debido al SiO_2 , que se incluye a modo de componente de ganga, se reduce fácilmente en una atmósfera de alta temperatura en presencia de una gran cantidad de coque, aproximadamente de un 0,2 a un 0,6 % de Si está contenido en el hierro metálico fundido, y es difícil obtener hierro metálico fundido que tenga un contenido en Si de menos de un 0,20 %. Además, debido a que el MnO es más fácil de reducir que el SiO_2 , el MnO se reduce fácilmente en una atmósfera muy reductora cuando se incluye una gran cantidad de MnO en el mineral de hierro para material. Como resultado, el contenido en Mn en el hierro metálico fundido se hace inevitablemente alto.

Por el contrario, las pepitas de hierro metálico de la presente invención, producidas mediante un proceso que se describe posteriormente, contienen de un 1,0 a un 4,5 % de C, de un 0,02 a un 0,2 % de Si, y menos de un 0,3 % de Mn. Las pepitas de hierro metálico de la presente invención difieren del hierro metálico común que se describe anteriormente en la composición. Además, tal como se describe posteriormente, el contenido en S de las pepitas de hierro metálico de la presente invención se reduce usando una fuente de CaO durante la etapa de producción de un cuerpo compacto con el fin de aumentar la basicidad de los componentes de escoria. Las pepitas de hierro metálico de la presente invención pueden distinguirse del hierro metálico producido de acuerdo con un proceso común en el que el contenido en S es de un 0,08 % o menos.

Es esencial que las pepitas de hierro metálico de la presente invención tengan un diámetro en el intervalo de 1 a 30 mm. Las partículas diminutas que tienen un diámetro de menos de 1 mm dan lugar a problemas de calidad y de manejo debido a que los componentes de escoria fina se mezclan fácilmente con tales partículas diminutas y tales partículas diminutas de hierro metálico se escapan volando fácilmente.

El límite superior del diámetro se ajusta con el fin de obtener de forma fiable un nivel predeterminado de la pureza de Fe dentro de las restricciones de manufacturación requeridas. A fin de obtener pepitas grandes que tengan un diámetro que supere los 30 mm, han de usarse cuerpos compactos grandes a modo de material. Con tales cuerpos compactos para material grandes, el tiempo que conlleva conducir el calor hacia el interior de los cuerpos compactos para material durante un proceso de reducción en sólido, carburación, y fusión, particularmente durante la reducción en sólido, para la producción de pepitas de hierro metálico, es largo, lo que disminuye la eficiencia de la reducción en sólido. Además, la incorporación del hierro fundido después de la carburación y fusión debido a la cohesión no avanza de manera uniforme. Como resultado, las pepitas de hierro metálico producidas tienen formas complejas e irregulares, y no pueden obtenerse pepitas de hierro metálico que tengan un diámetro y una calidad uniformes.

El tamaño y la forma de las pepitas de hierro se ven afectados por diversos factores incluyendo el tamaño de los cuerpos compactos para material tal como se describe anteriormente, la composición del material (el tipo de fuente del óxido de metal y la composición de la escoria), la cantidad de carburación después de la reducción en sólido, la temperatura de la atmósfera del horno (particularmente la temperatura de la atmósfera en la región en la que se realizan la carburación, fusión y cohesión), y la densidad de suministro a la que los cuerpos compactos para material se suministran al horno de reducción por fusión. La densidad de suministro y el tamaño de los cuerpos compactos para material tienen la misma influencia. Cuanto más alta es la densidad de suministro, más similar es para el hierro metálico fundido producido por carburación y fusión la formación de pepitas grandes en un crisol debido a la cohesión y a la incorporación. Aumentando gradualmente la densidad de suministro de los cuerpos compactos para material y colocando finalmente los cuerpos compactos para material en un crisol, puede aumentarse la probabilidad de que el hierro metálico fundido se incorpore dando lugar a la formación de pepitas grandes. No obstante, cuando la densidad de suministro es excesivamente alta, se reduce la proporción de conducción de calor en el horno, y por lo tanto no puede aumentarse la proporción de reducción en sólido. Además, la cohesión y la incorporación uniformes se hacen difíciles, y las pepitas de hierro metálico resultantes tendrán formas complejas e irregulares. No pueden obtenerse pepitas de hierro metálico que tengan un diámetro uniforme y una forma uniforme.

Estos problemas derivados del tamaño de los cuerpos compactos para material y similares son particularmente acusados cuando se hacen unas pepitas de hierro metálico que tienen un diámetro de 30 mm o más como productos. No se producen tales problemas al producir pepitas que tienen un diámetro de 30 mm o menos, y pueden

obtenerse pepitas que tienen un diámetro relativamente uniforme de 30 mm o menos y una forma relativamente uniforme. A la vista de lo anterior, el diámetro está limitado a 30 mm o menos en la presente invención. Ha de observarse que puede obtenerse pepitas que tienen un diámetro, una forma, y una calidad muy uniformes con un diámetro de 3 a 15 mm.

5 El tamaño de las pepitas de hierro metálico producidas se ve afectado también por el tipo y las características del mineral de hierro contenido en los cuerpos compactos para material. En general, la propiedad de cohesión es satisfactoria cuando se usa mineral de hierro de magnetita a modo de fuente de óxido de hierro. No obstante, no todo el hierro contenido en un cuerpo compacto se adhiere necesariamente a una pepita de hierro metálico. El hierro
10 contenido en un cuerpo compacto frecuentemente forma dos o tres pepitas. La causa de un fenómeno de este tipo no se conoce con precisión, pero se consideran como causas posibles una combinación compleja de diferencias en el contenido en oxígeno, en la estructura del cristal del mineral de hierro, en la composición de la escoria derivada de la composición de la ganga. En cualquier caso, pueden obtenerse unas pepitas de hierro metálico que tienen un diámetro y una forma relativamente uniformes con un diámetro del producto de pepitas de 30 mm o menos.

15 Las pepitas de hierro metálico de la presente invención satisfacen todos los requisitos que se describen anteriormente y pueden usarse de forma efectiva a modo de fuente de hierro para la producción de hierro, acero, o acero de aleación usando diversas instalaciones para hierro, acero, o de producción de aleación de acero, tal como un horno eléctrico.

20 Una realización de un procedimiento para la producción de pepitas de hierro metálico que satisface los requisitos anteriores se describirá en detalle con referencia a los dibujos.

25 Las figuras 1 a 3 son ilustraciones esquemáticas que muestran un ejemplo de un horno de reducción por fusión de tipo de crisol giratorio, desarrollado por los presentes inventores, que se usa para la producción de pepitas de hierro metálico de la presente invención. El horno de reducción por fusión tiene un crisol amovible en forma de anillo y una estructura en forma de cúpula. La figura 1 es una ilustración esquemática del mismo, la figura 2 es una vista en sección transversal tomada a lo largo de la línea A-A en la figura 1, y la figura 3 es una vista en sección transversal del crisol amovible, desarrollada en una dirección en movimiento para favorecer la comprensión de la estructura. En
30 los dibujos, el número de referencia 1 indica un crisol giratorio, y el número de referencia 2 indica una carcasa de horno que cubre el crisol giratorio. El crisol giratorio 1 está configurado para girar a una velocidad adecuada por un controlador que no se muestra en el dibujo.

35 Una pluralidad de quemadores de combustión 3 se proporciona en posiciones adecuadas de la pared de la carcasa de horno 2. El calor de combustión y el calor radiante del mismo procedente de los quemadores de combustión 3 se aplican a unos cuerpos compactos para material en el crisol giratorio 1 con el fin de realizar la reducción por calor de los cuerpos compactos. La carcasa de horno 2 que se muestra en el dibujo es un ejemplo preferible y se divide mediante tres particiones K_1 , K_2 , y K_3 en una primera zona Z_1 , una segunda zona Z_2 , una tercera zona Z_3 , y una cuarta zona Z_4 . En el flujo más arriba en el sentido de rotación de la carcasa de horno 2, se proporciona un
40 dispositivo de alimentación 4 para alimentar material y un material auxiliar, estando el dispositivo de alimentación 4 orientado hacia el crisol giratorio 1. En el flujo más abajo en el sentido de rotación, es decir, la posición aguas arriba del dispositivo de alimentación 4, debido a la estructura giratoria, se proporciona un dispositivo de descarga 6.

45 Al hacer funcionar este horno de reducción por fusión, a la vez que se permite que el crisol giratorio 1 gire a una velocidad predeterminada, se suministran cuerpos compactos para material con contenido en mineral de hierro o similar y una sustancia carbonosa a partir del dispositivo de alimentación 4 hasta que se alcanza un espesor adecuado. Los cuerpos compactos para material ubicados en el crisol giratorio 1 reciben el calor de combustión y el calor radiante del mismo a partir de los quemadores de combustión 3 durante el transcurso del viaje a través de la primera zona Z_1 . El óxido de metal contenido en los cuerpos compactos se reduce a la vez que se sostiene su estado sólido debido a la sustancia carbonosa en los cuerpos compactos y al monóxido de carbono producido quemando la sustancia carbonosa. Posteriormente, los cuerpos compactos para material se reducen adicionalmente
50 mediante calentamiento de la segunda zona Z_2 . El hierro resultante, que sustancialmente está reducido por completo, se calienta a continuación adicionalmente en una atmósfera reductora en la tercera zona Z_3 con el fin de carburar y fundir el hierro reducido a la vez que se permite que el hierro reducido se separe a partir de los productos secundarios de tipo escoria y forme pepitas, es decir, pepitas de hierro metálico. Posteriormente, las pepitas de hierro metálico resultantes se enfrían y se solidifican en la cuarta zona Z_4 mediante unos medios de enfriamiento adecuados C, y se descargan secuencialmente por el dispositivo de descarga 6 en la zona aguas abajo de los medios de enfriamiento C. En este momento también se descargan los productos secundarios de tipo escoria derivados del componente de ganga, etc., en el mineral de hierro. Los productos secundarios de tipo escoria se
60 separan del hierro metálico por medios de separación adecuados, tales como un tamiz y un aparato de separación magnética, después de que la escoria y el hierro metálico se alimenten a una tolva H. Las pepitas de hierro metálico resultantes tienen una pureza de hierro de aproximadamente un 94 % o más, y más preferentemente, de un 96 % o más, y contienen una cantidad significativamente baja del componente de escoria.

65 Ha de observarse que a pesar de que la cuarta zona Z_4 en el dibujo es de un tipo al aire libre, la cuarta zona Z_4 se dota de, preferentemente, una cubierta, con el fin de evitar la disipación de calor en la medida en la que sea posible

y con el fin de ajustar de forma adecuada la atmósfera en el interior del horno en funcionamiento real. Además, a pesar de que, en esta realización, el horno giratorio se divide en la primera zona Z_1 , la segunda zona Z_2 , la tercera zona Z_3 y la cuarta zona Z_4 usando tres particiones K_1 a K_3 , la configuración de zona del horno no está limitada a esta estructura. Naturalmente, la configuración de zona puede modificarse de acuerdo con el tamaño del horno, la capacidad de manufacturación requerida, el modo de funcionamiento, o similares. No obstante, a fin de manufacturar eficientemente las pepitas de hierro metálico de la presente invención, es preferible una estructura en la que se proporciona una partición al menos entre el área de reducción en sólido del primer semiperiodo de la reducción por calentamiento, y el área de carburación, fusión y cohesión del segundo semiperiodo de la reducción por calentamiento de tal modo que pueden controlarse por separado la temperatura del horno y el gas de la atmósfera.

Durante el proceso de reducción por fusión anterior, cuando la temperatura de la atmósfera durante la reducción (periodo de reducción en sólido) es excesivamente alta, es decir, cuando la temperatura de la atmósfera supera el punto de fusión de los componentes de escoria, incluyendo el componente de ganga, el óxido de hierro no reducido, y similares durante un periodo determinado en el proceso de reducción, se funde el óxido de hierro (FeO) en el material antes de que se reduzca. Como resultado, se produce rápidamente una reducción por fusión debido a la reacción del óxido de hierro fundido con el carbono contenido en la sustancia carbonosa. Obsérvese que la reducción por fusión es un fenómeno en el que un material se reduce en un estado fundido, y es diferente de la reducción en sólido. Todavía puede producirse hierro metálico mediante reducción por fusión; no obstante, cuando se produce la reducción en el estado fundido, es difícil la separación de hierro reducido a partir de los productos secundarios de tipo escoria. Además, el hierro reducido se obtiene en la forma de una esponja, a partir de la que es difícil hacer pepitas, y el contenido en escoria en el hierro reducido se eleva. En consecuencia, se hace difícil lograr un contenido en Fe dentro de los intervalos especificados por la presente invención. Además, el hierro metálico fundido formado por incorporación debido a la cohesión puede fluir en el crisol y puede hacerse plano en lugar de granular.

La figura 4 muestra el estado de la reacción cuando se alimentan cuerpos compactos para material (con gránulos que tienen un diámetro de 16 a 19 mm) con contenido en mineral de hierro a modo de fuente de óxido de hierro y carbón a modo de agente reductor carbonoso a un horno que tiene una temperatura de la atmósfera de aproximadamente 1.300 °C (la línea recta 1 en la gráfica) con el fin de reducir en sólido los cuerpos compactos para material hasta que se alcanza una proporción de reducción de un 100 % (la proporción de eliminación de oxígeno en el óxido de hierro en los cuerpos compactos para material), y a continuación el hierro reducido resultante se alimenta a una zona de fusión controlada a aproximadamente 1.425 °C (línea recta 2) que comienza en el momento indicado por la línea recta 3 en el dibujo con el fin de fundir el hierro reducido resultante. En la gráfica se muestran también la temperatura en el interior de los cuerpos compactos, la temperatura de la atmósfera del horno, y los cambios del dióxido de carbono y del monóxido de carbono con el tiempo producidos durante el proceso de reducción. La temperatura en el interior de los cuerpos compactos se mide continuamente usando un termopar insertado por adelantado en los cuerpos compactos para material.

Tal como resulta evidente a partir de esta gráfica, a fin de mantener el estado sólido de los cuerpos compactos para el material alimentado al horno y para reducir los cuerpos compactos para material a una proporción de reducción (proporción de eliminación de oxígeno) de un 80 % (punto A en la figura 4) o más, y más preferentemente, de un 94 % (punto B en la figura 4) o más, la temperatura del horno se mantiene preferentemente en el intervalo de 1.200 a 1.500 °C, y más preferentemente, de 1.200 a 1.400 °C, para realizar la reducción en sólido, y posteriormente se aumenta de 1.350 a 1.500 °C para reducir el óxido de hierro restante a la vez que se permite que el hierro metálico producido forme pepitas mediante carburación y fusión. De acuerdo con este proceso de calentamiento en dos fases, pueden manufacturarse de forma fiable y eficientemente unas pepitas de hierro metálico que tienen una alta pureza de Fe.

El tiempo indicado por el eje horizontal en la figura 4 puede variar dependiendo de la composición del mineral de hierro o de la sustancia carbonosa que constituye los cuerpos compactos para material. Normalmente, pueden completarse la reducción en sólido del óxido de hierro, la fusión, la cohesión, y la incorporación, y las pepitas de hierro metálico pueden hacerse en un intervalo de 10 a 13 minutos.

Si la reducción en sólido de los cuerpos compactos para material se detiene en una proporción de reducción de menos de un 80 % y se inicia la fusión a partir de ese punto, se produce hierro metálico en forma de esponja, y es difícil la formación de pepitas a partir de tal hierro metálico. Además, es difícil lograr un contenido en Fe de un 94 % o más en el hierro metálico resultante. Por el contrario, cuando la reducción en sólido se realiza hasta que se alcanza una proporción de reducción de un 80 % o más, y más preferentemente de un 94 % o más y a continuación se realiza la etapa posterior de carburación, fusión y cohesión, el FeO restante en los cuerpos compactos para material puede reducirse de forma efectiva con independencia del tipo y de la composición del mineral de hierro en los cuerpos compactos para material. Además, en la etapa posterior de carburación y fusión, las pepitas pueden crecer a la vez que se evitan los productos secundarios de tipo escoria. Por lo tanto, puede obtenerse unas pepitas de hierro metálico que tengan un alto contenido en Fe y un diámetro relativamente uniforme.

En la región de reducción en sólido que se muestra en la primera parte de la figura 4, la temperatura preferible del horno que puede conseguir de forma segura una alta proporción de reducción es de 1.200 a 1.500 °C, y más preferentemente de 1.200 a 1.400 °C. A una temperatura del horno de menos de 1.200 °C, la reducción en sólido reacción avanza lentamente, y por lo tanto el tiempo de permanencia en el horno ha de hacerse más largo, lo que da como resultado una productividad pobre. A una temperatura del horno de 1.200 °C o más, y particularmente de 1.500 °C o más, las pepitas de hierro metálico se unen entre sí para formar pepitas grandes de formas irregulares. Tales pepitas de hierro metálico no son preferibles como producto.

Las pepitas de hierro metálico pueden no incorporarse entre sí para formar pepitas grandes en un intervalo de temperatura de 1.400 a 1.500 °C dependiendo de la composición y de la cantidad del mineral de hierro en el material. No obstante, esta posibilidad y frecuencia son bajas. Por lo tanto, la temperatura durante el periodo de reducción en sólido es, preferentemente, de 1.200 a 1.500 °C, y más preferentemente de 1.200 a 1.400 °C. Durante el funcionamiento real, es posible ajustar la temperatura del horno a 1.200 °C durante la primera fase del periodo de reducción en sólido y a continuación aumentar la temperatura del horno de 1.200 a 1.500 °C durante la última fase de la reducción en sólido.

Los cuerpos compactos sometidos a la reducción requerida en la zona de reducción en sólido se transfieren a una zona de fusión que tiene una alta temperatura del horno de 1.425 °C. La temperatura en el interior de los cuerpos compactos aumenta tal como se muestra en la figura 4, cae después de alcanzar un punto C, y a continuación aumenta de nuevo hasta que se alcanza una temperatura predeterminada de 1.425 °C. La caída de temperatura en el punto C está causada por el calor latente que acompaña a la fusión del hierro reducido, es decir, el punto C puede considerarse como el punto de inicio de la fusión. Este punto de inicio se determina sustancialmente mediante el contenido en carbono residual en las partículas de hierro reducido. Debido a que el punto de fusión del hierro reducido cae como resultado de la carburación por el carbono residual y un gas CO, se acelera la fusión del hierro reducido.

A fin de fundir rápidamente el hierro reducido, debe permanecer una cantidad suficiente de carbono para la carburación en el hierro reducido después de la reducción en sólido. El contenido del carbono residual se determina por la cantidad del mineral de hierro y la sustancia carbonosa que se usa al producir los cuerpos compactos para material. Los presentes inventores han confirmado a través de experimentos que cuando la cantidad de la sustancia carbonosa se ajusta inicialmente de tal modo que el contenido en carbono residual, es decir, el exceso de contenido en carbono, en la sustancia reducida en sólido es de un 1,5 % en el momento en el que la proporción de reducción final durante el periodo de reducción en sólido alcanza un 100 %, es decir, en el momento en el que la proporción de metalización alcanza un 100 %, el hierro reducido puede carburarse rápidamente, causando de ese modo una caída en el punto de fusión. En consecuencia, el hierro reducido puede rápidamente formar pepitas que tienen un diámetro adecuado mediante cohesión e incorporación en un intervalo de temperatura de 1.300 a 1.500 °C. Obsérvese que cuando el contenido en carbono residual del carbono reducido en sólido es de menos de un 1,5 %, el punto de fusión del hierro reducido no cae suficientemente debido a la escasez de carbono para la carburación, y la temperatura de calentamiento debe por lo tanto aumentarse a 1.500 °C o más.

Cuando la cantidad de carburación es cero, es decir, cuando hay hierro puro implicado, la temperatura de fusión es de 1.530 °C, y el hierro reducido puede fundirse calentándose a una temperatura que supera esta temperatura. No obstante, en hornos reales, la temperatura de funcionamiento es preferentemente baja para reducir la carga térmica que se impone a los refractarios del horno. La temperatura de funcionamiento es, preferentemente, de aproximadamente 1.500 °C o menos. En particular, las condiciones de funcionamiento se ajustan preferentemente para permitir un aumento de temperatura de aproximadamente 50 a 200 °C después del punto inicial C de fusión, que es el comienzo del periodo de fusión y de cohesión. A fin de realizar de forma suave y efectiva la reducción en sólido, la carburación, y la fusión que se describen anteriormente, la temperatura durante la carburación y fusión es, preferentemente, de 50 a 200 °C, y más preferentemente, de 50 a 150 °C, más alta que la temperatura durante la reducción en sólido.

En la presente invención, el contenido final en carbono en el producto final de pepitas de hierro metálico ha de estar en el intervalo de un 1,0 a un 4,5 %, y más preferentemente, de un 2,0 a un 4,0 %. El contenido final en carbono se determina sustancialmente mediante la cantidad de la sustancia carbonosa que se usa al producir cuerpos compactos para material y los ajustes de la atmósfera durante el periodo de reducción en sólido. Especialmente, el límite más bajo del contenido en carbono se determina mediante el contenido en carbono residual en el hierro reducido durante la fase final de la reducción en sólido y el tiempo de retención (cantidad de carburación) durante el periodo que sigue al periodo de reducción en sólido. Si casi se consigue una proporción de reducción de un 100 % durante la fase final de la reducción en sólido tal como se describe anteriormente a la vez que se asegura un 1,5 % del contenido en carbono residual, el producto final de las pepitas de hierro metálico puede tener un contenido en carbono de un 1,0 % o más. Además, los presentes inventores han confirmado también que cuando el contenido en carbono residual en el hierro reducido tras la finalización de la reducción en sólido es de un 5,0 % y la carburación, fusión y cohesión de este hierro reducido se realizan durante el periodo posterior de fusión y cohesión, el contenido en carbono en las pepitas de hierro metálico resultantes puede aumentarse a un 4,5 %. No obstante, a fin de obtener de forma fiable unas pepitas de hierro metálico que tengan un contenido final en carbono de un 2,0 a un

4,0 %, el contenido en carbono residual en el hierro reducido después de la finalización de la reducción en sólido se controla preferentemente en el intervalo de un 1,5 a un 4,5 %.

En lo concerniente al gas de la atmósfera en el proceso, durante el periodo en el que la reducción en sólido se hace avanzar rápidamente, se genera una gran cantidad de CO mediante la reacción del óxido de metal con la sustancia carbonosa en los cuerpos compactos para material, y la región adyacente a los cuerpos compactos se mantiene en una atmósfera muy reductora debido al efecto de autoblandaje. No obstante, durante la última fase de la reducción en sólido y durante la carburación y el periodo de fusión posteriores, la cantidad del gas CO producido se reduce drásticamente. Por lo tanto, no puede esperarse una prevención de la reoxidación debida al efecto de autoblandaje.

La figura 5 muestra los resultados del examen acerca de la relación entre la proporción de metalización, el FeO residual, y el carbono residual en el material que resulta de la reducción en sólido. Tal como se muestra en la gráfica, el FeO se reduce a medida que avanza la reducción en sólido, es decir, a medida que aumenta la proporción de metalización. Hasta la línea recta 1 en la gráfica, la reducción en sólido de los cuerpos compactos para material avanza en el interior del horno controlado a una temperatura de 1.200 a 1.500 °C. Posteriormente, la carburación, fusión y cohesión del hierro reducido avanzan durante el periodo de fusión en el que la temperatura se controla en el intervalo de 1.350 a 1.500 °C en una atmósfera muy reductora. Durante este periodo, la relación entre la proporción de metalización, el FeO residual y el carbono residual cambia tal como se muestra mediante las partes de las curvas incluidas en la sección derecha de la gráfica a partir de la línea recta 1.

Las curvas (1) y (2) en la figura 5 muestran la relación entre la proporción de metalización y el contenido en carbono residual. La curva (1) representa cuando el contenido en carbono residual es de un 1,5 % cuando la proporción de metalización es de un 100 %. La curva (2) representa cuando el contenido en carbono residual es de un 3,0 % cuando la proporción de metalización es de un 100 %. A fin de obtener las pepitas de hierro metálico de la presente invención, la cantidad de la sustancia carbonosa se controla preferentemente durante el proceso de producción de cuerpos compactos para material de tal modo que el contenido en carbono residual está por encima de la curva (1).

Obsérvese que incluso cuando una cantidad predeterminada de la sustancia carbonosa se usa al producir cuerpos compactos para material, el contenido en carbono residual en la proporción de metalización de un 100 % varía ligeramente dependiendo del grado de reducción del gas de la atmósfera en el interior del horno. En consecuencia, la cantidad de la sustancia carbonosa ha de ajustarse de forma adecuada de acuerdo con el grado de reducción del gas de la atmósfera que se usa en el funcionamiento. En cualquier caso, la cantidad inicial de la sustancia carbonosa se ajusta preferentemente de tal modo que el contenido final en carbono residual es de un 1,5 % o más con una proporción de metalización de un 100 %.

La figura 6 muestra los resultados del examen acerca de la relación entre el contenido en carbono residual con una proporción de metalización de un 100 % y el contenido en C de las pepitas de hierro metálico resultantes. Cuando el contenido en carbono residual es de un 1,5 a un 5,0 %, las pepitas de hierro metálico resultantes pueden tener de forma segura un contenido en C de un 1,0 a un 4,5 %. Cuando el contenido en carbono residual es 2,5 a un 4,5 %, las pepitas de hierro metálico resultantes pueden tener de forma segura un contenido en C de un 2,0 a un 4,0 %.

En la descripción anterior se usan dos índices, es decir, la proporción de metalización y la proporción de reducción, para indicar el estado de la reducción de FeO. Las definiciones de la proporción de metalización y de la proporción de reducción son las que se describen posteriormente. La relación entre las dos es, por ejemplo, la que se muestra en la figura 7. La relación entre las dos cambia dependiendo del tipo del mineral de hierro que se usa a modo de fuente de óxido de hierro. La figura 7 muestra la relación entre las dos cuando se usa magnetita (Fe₃O₄) a modo de fuente de óxido de hierro.

$$\text{Proporción de metalización} = \left[\frac{\text{pepitas de hierro metálico producidas}}{\text{pepitas de hierro metálico producidas} + \text{hierro en mineral de hierro}} \right] \times 100 (\%)$$

$$\text{Proporción de reducción} = \left[\frac{\text{cantidad de oxígeno eliminado durante el proceso de reducción}}{\text{cantidad de oxígeno en el óxido de hierro contenido en los cuerpos compactos para material}} \right] \times 100 (\%)$$

El horno de reducción por fusión que se usa al producir las pepitas de hierro metálico de la presente invención emplea quemadores para calentar los cuerpos compactos para material, tal como se describe anteriormente. Durante el periodo de reducción en sólido, tal como se describe anteriormente con referencia a la figura 4, la fuente de óxido de hierro y la sustancia carbonosa en los cuerpos compactos para material alimentados al horno reaccionan entre sí para producir una gran cantidad de gas CO y una pequeña cantidad de gas CO₂. En consecuencia, la región adyacente a los cuerpos compactos para material se mantiene a una atmósfera reductora suficiente como resultado del efecto blindaje del gas CO emitido a partir de los propios cuerpos compactos para material.

No obstante, durante la última fase y la fase final del periodo de reducción en sólido, la cantidad del gas CO se reduce rápidamente, lo que da como resultado una disminución en el efecto de autoblandaje. En consecuencia, el hierro reducido se hace vulnerable al gas de escape, es decir, un gas oxidante tal como CO₂ y H₂O, producido por el calentamiento del quemador, y puede tener lugar la reoxidación del hierro reducido de metal. Además, después de la finalización de la reducción en sólido, la fusión y la cohesión de las partículas diminutas de hierro reducido avanzan debido a la carburación del hierro reducido usando el carbono residual en los cuerpos compactos y una disminución en la temperatura de fusión que resulta de la carburación. También durante esta fase, debido a que el efecto de autoblandaje es pobre, la reoxidación del hierro reducido puede tener lugar fácilmente.

A fin de realizar eficientemente la carburación, fusión y cohesión después de la reducción en sólido para asegurar una pureza de Fe de un 94 % o más y para obtener de ese modo pepitas de hierro metálico de un diámetro adecuado a la vez que se evita una disminución en la pureza de Fe que resulta de tal reoxidación en la medida en la que es factiblemente posible, preferentemente se optimiza la composición del gas de la atmósfera en las regiones de carburación y fusión.

A la vista de lo anterior, se llevó a cabo el examen de las condiciones de la atmósfera para realizar de forma eficiente la carburación y fusión a la vez que se evita la reoxidación del hierro reducido durante el periodo de carburación y de fusión después de la finalización de la reducción en sólido. Los resultados del examen se describirán con referencia a la figura 8. En los experimentos, se usó un horno en caja, y se usó polvo de carbón a modo de agente de ajuste de la atmósfera durante la fase de carburación y fusión. En un crisol, se preparó un lecho de polvo de carbón de un espesor adecuado con el fin de mantener una atmósfera muy reductora durante la carburación y fusión.

En particular, los polvos de carbón que tienen diámetros de partícula diferentes se usaron a modo de agentes de ajuste de la atmósfera. Se preparó un lecho con el polvo de carbón de un espesor de aproximadamente 3 mm en una bandeja de alúmina, y de 50 a 60 cuerpos compactos para material, que tenían un diámetro de aproximadamente 19 mm, se ubicaron en el lecho del polvo de carbón. Un termopar se proporcionó en uno de los cuerpos compactos para material. Los cuerpos compactos para material se alimentaron al horno en caja. Se midió la temperatura del compuesto durante el calentamiento, y se midió la composición del gas producido para determinar la posibilidad de la reoxidación del hierro metálico producido. Obsérvese que la temperatura en el interior del horno eléctrico se ajustó de tal modo que la temperatura máxima del horno fuese de aproximadamente 1.450 °C. La composición inicial del gas de la atmósfera en el interior del horno fue de CO₂: 20 % y N₂: 80 %.

La figura 8 muestra los resultados de los experimentos, en los que se midieron con el tiempo la temperatura de los cuerpos compactos para material detectada por el termopar que se describe anteriormente y la composición del gas de la atmósfera cuando la temperatura en el interior del horno eléctrico se eleva gradualmente. El eje horizontal muestra cambios en la temperatura, y el eje vertical muestra un grado simplificado de reducción (CO)/(CO + CO₂) del gas de la atmósfera. En la gráfica, se representan cuatro resultados experimentales. La curva (3) muestra el resultado del experimento en el que no se usó ningún agente de ajuste de la atmósfera. La curva (4) muestra el resultado del experimento en el que se usó un polvo de carbón grueso, que tiene un diámetro promedio que supera los 3,0 mm, a modo de agente de ajuste de la atmósfera. Las curvas (1) y (2) muestran los resultados de los experimentos en los que se usaron polvos de carbón fino A y B que tienen un diámetro de 2,0 mm o menos. En la gráfica, se incluyen también una curva de equilibrio de FeO-Fe y una curva de equilibrio de Fe₃O₄-FeO. Las regiones rodeadas con círculos indican los periodos durante los que la reducción en sólido casi se completa y se inician la carburación, fusión y cohesión del hierro reducido en estos experimentos. El control del gas de la atmósfera durante estos periodos es particularmente importante para evitar la reoxidación del óxido de hierro y para obtener pepitas de hierro metálico de una alta pureza de Fe.

Tal como resulta evidente a partir de esta gráfica, la curva (3) del experimento en el que no se usó ningún agente de ajuste de la atmósfera, la región C que indica el comienzo de la carburación, fusión y cohesión del hierro reducido, estuvo muy por debajo de la curva de equilibrio de FeO-Fe. Esto muestra que todo el hierro reducido se fundió mientras que una parte del mismo experimentó la reducción por fusión. El hierro metálico se obtuvo todavía en este experimento, pero, tal como se describe anteriormente, cuando se produce la reducción por fusión, es probable que el hierro que resulta sea en forma de esponja y que por lo tanto sea sencillo hacer pepitas a partir del mismo. Además, la pureza de Fe del hierro metálico fue insuficiente.

Por el contrario, las curvas (1) y (2) muestran los resultados de los experimentos en los que se usó polvo de carbón fino. Tal como resulta evidente a partir de la gráfica, el grado de reducción del gas de la atmósfera se mejoró significativamente. Además, la región A en la que la carburación, fusión y cohesión del hierro reducido tuvieron lugar estuvo por encima de la curva de equilibrio de FeO-Fe, lo que significa que se evitó la generación de FeO en estos experimentos. La curva (3) muestra los resultados del experimento usando un polvo de carbón grueso. En este experimento, la región B en la que tuvieron lugar la carburación, fusión y cohesión del hierro reducido estuvo ligeramente por debajo de la curva de equilibrio de FeO-Fe. Esto significa que podría haber tenido lugar algún grado de reoxidación. No obstante, se examinó la composición del hierro metálico producido, y los resultados confirmaron que sustancialmente no tuvo lugar ninguna reoxidación en este experimento.

- Se confirmó también pueden manufacturarse unas pepitas de hierro metálico que tengan un contenido en Fe de un 94 % o más y un contenido en carbono de un 1,0 a un 4,5 % de forma muy efectiva controlando el grado de reducción del gas de la atmósfera a al menos un 0,5, más preferentemente, al menos un 0,6, aún más preferentemente, al menos un 0,7, y más preferentemente por encima de la curva de equilibrio de FeO-Fe, al menos durante la fase de comienzo del periodo de carburación, fusión y cohesión. De esta forma, la carburación, fusión y cohesión puede realizarse suavemente sin permitir la reoxidación del hierro reducido producido mediante reducción en sólido.
- El análisis directo de los datos experimentales que se muestran en la figura 8 sugiere que puede tener lugar un grado sustancial de reoxidación en un grado simplificado de reducción de 0,5 a 0,7. No obstante, este experimento examina sólo el grado de reoxidación del gas de la atmósfera; las partes interiores de los cuerpos compactos para material reales o la atmósfera cerca de los cuerpos compactos para material reales se mantienen en una atmósfera muy reductora debido a la presencia del carbono residual en el interior de los cuerpos compactos para material y el agente de ajuste de la atmósfera. Además, un gas oxidante tal como CO₂ y H₂O en la atmósfera de la parte superior del crisol se reduce fácilmente por el agente de ajuste carbonoso de la atmósfera cuando el gas oxidante se introduce en la sección cerca de los cuerpos compactos para material. Por lo tanto, se supone que no se produce ninguna reoxidación incluso cuando el grado de reducción medido de la atmósfera es de 0,5 a 0,7. Obsérvese que en un grado de reducción de menos de 0,5, el hierro metálico producido se reoxida fácilmente, la cohesión del hierro metálico y la formación de pepitas de hierro metálico se hacen difíciles debido a una carburación insuficiente, y son difíciles de obtener unas pepitas de hierro metálico que tengan un diámetro en el intervalo de la presente invención.
- Después de que se completan la carburación, fusión y cohesión del hierro reducido, el grado de reducción del gas de la atmósfera disminuye rápidamente. No obstante, durante el funcionamiento real, el hierro metálico, que se ha fundido y adherido, se encuentra casi completamente separado de los productos secundarios de tipo escoria al llegar a este momento. Por lo tanto, el hierro metálico apenas se ve afectado por el gas de la atmósfera, y pueden hacerse de forma efectiva unas pepitas de hierro metálico que tengan un alto contenido en Fe y un bajo contenido de inclusión en escoria mediante enfriado y solidificación de este hierro metálico.
- Tal como resulta evidente a partir de lo anterior, un polvo de carbón que se usa a modo de agente de ajuste de la atmósfera se pulveriza preferentemente a un diámetro de 3 mm o menos, y más preferentemente, de 2 mm o menos para evitar adicionalmente de forma fiable la reoxidación durante la carburación, fusión y cohesión. A la vista del rendimiento y funcionamiento del horno durante el funcionamiento real, el diámetro del polvo de carbón se encuentra más preferentemente en el intervalo de 0,3 a 1,5 mm. No se impone ningún límite en lo concerniente al espesor con el que se prepara un lecho de polvo de carbón, pero el espesor del lecho de polvo de carbón es, preferentemente, de aproximadamente 2 mm o más, y más preferentemente de 3 mm o más debido a que la cantidad del polvo de carbón a modo de agente de ajuste de la atmósfera es insuficiente a un espesor excesivamente pequeño. No se impone ningún límite en lo concerniente al límite superior del espesor. No obstante, debido a que el efecto de ajuste de la atmósfera se satura a un espesor excesivamente grande, es práctico y rentable limitar el espesor, preferentemente, a aproximadamente 7 mm o menos, y más preferentemente, a aproximadamente 6 mm o menos. Cualquier material puede usarse a modo de agente de ajuste de la atmósfera durante tanto tiempo como libere CO. Ejemplos de tales materiales incluyen el carbón, el coque y el carbón vegetal. Estos materiales pueden usarse solos o en combinación.
- Puede prepararse un lecho del agente de ajuste de la atmósfera en un crisol antes de que los cuerpos compactos para material se alimenten en un crisol. En un caso de este tipo, el agente de ajuste de la atmósfera también funciona para proteger el crisol refractario con respecto a la escoria que fluye durante el proceso de reducción por fusión. No obstante, debido a que el agente de ajuste de la atmósfera ejerce su efecto durante el periodo de carburación, fusión y cohesión después de la reducción en sólido, es también efectivo rociar el agente de ajuste de la atmósfera desde arriba del crisol inmediatamente antes de que se inicie la carburación y fusión de los cuerpos compactos para material.
- De acuerdo con el procedimiento anterior, puede evitarse la reoxidación del hierro reducido y puede realizarse la carburación, la fusión, y la formación de pepitas de forma efectiva debido a que se aumenta el grado de reducción del gas de la atmósfera durante el periodo de carburación y de fusión. Por lo tanto, pueden manufacturarse eficientemente unas pepitas de hierro metálico que tengan un alto contenido en Fe y un tamaño adecuado. Durante el proceso, a fin de realizar de forma efectiva una serie de etapas desde la reducción en sólido hasta la carburación, fusión y cohesión, la temperatura y el gas de la atmósfera se controlan preferentemente por separado de acuerdo con la etapa. En particular, tal como se describe anteriormente, la temperatura durante el periodo de reducción en sólido es, preferentemente, de 1.200 a 1.400 °C para evitar la reacción de reducción por fusión. La temperatura durante el periodo de carburación, fusión y cohesión es, preferentemente, de 1.300 a 1.500 °C. Más preferentemente, la temperatura durante el periodo de reducción en sólido es de 50 a 200 °C más baja que la temperatura durante el periodo de carburación, fusión y cohesión.
- En lo concerniente al gas de las condiciones de la atmósfera, debido a que una gran cantidad de gas CO, que se produce por la combustión de la sustancia carbonosa en el interior de los cuerpos compactos para material,

5 mantiene una atmósfera muy reductora durante el periodo de reducción en sólido, el gas de la atmósfera en el interior del horno no requiere un control exhaustivo. Por el contrario, durante el periodo de carburación, fusión y cohesión, se reduce drásticamente la emisión del gas CO a partir de los cuerpos compactos para material. Como resultado, puede tener lugar fácilmente la reoxidación causada por el gas oxidante producido por la combustión de los quemadores. Por lo tanto, a fin de obtener unas pepitas de hierro metálico que tengan un contenido adecuado en carbono, es esencial ajustar de forma adecuada el gas de la atmósfera en el interior del horno de este periodo en adelante. El gas de la atmósfera puede ajustarse, por ejemplo, usando un agente de ajuste de la atmósfera.

10 A fin de ajustar de forma adecuada la temperatura y la composición del gas de la atmósfera en el interior del horno de acuerdo con el avance de la reducción por fusión, el horno de reducción por fusión se divide preferentemente en al menos dos zonas en la dirección de recorrido del crisol usando una partición, tal como se muestra en las figuras 1 a 3. Preferentemente, la zona aguas arriba está configurada como una zona de reducción en sólido, y la zona aguas abajo está configurada como una zona de carburación, fusión y cohesión con el fin de controlar por separado la temperatura y la composición del gas de la atmósfera de cada zona. Obsérvese que la figura 3 muestra un ejemplo en el que el horno se divide en cuatro zonas usando tres particiones para permitir un control más riguroso de la temperatura y de la composición del gas de la atmósfera. El número de zonas puede ajustarse para adecuar la escala y la estructura de la instalación de reducción por fusión.

20 Las pepitas de hierro metálico de la presente invención producidas mediante el proceso descrito anteriormente no contienen sustancialmente ningún componente de escoria y tienen una pureza de Fe de un 94 % o más, y más preferentemente de un 96 % o más, y un contenido en carbono de un 1,0 a un 4,5 %, en las que la composición de las pepitas de hierro se controla para comprender adicionalmente un 0,20 % o menos de azufre, y de un 0,02 a un 0,2 % de Si y menos de un 0,3 % de Mn. El diámetro de las mismas se controla mediante al menos un tamaño del material y está en el intervalo de 1 a 30 mm. Estas pepitas de hierro metálico se usan a modo de fuente de hierro en instalaciones conocidas para la producción de acero, tales como un horno eléctrico y un convertidor. Cuando se usan las pepitas de hierro metálico a modo de material para la producción de acero, el contenido en azufre en su interior es preferentemente tan bajo como es factiblemente posible. La investigación se ha llevado a cabo para eliminar el contenido en azufre en el mineral de hierro y la sustancia carbonosa en la medida en la que sea posible durante el proceso de producción de las pepitas de hierro metálico y para obtener unas pepitas de hierro metálico que tengan un bajo contenido en azufre.

35 Como resultado, se ha determinado que el contenido en azufre en el producto final de pepitas de hierro metálico puede reducirse a un 0,08 % o menos añadiendo de forma intencionada una fuente de CaO, por ejemplo, cal anhidra, cal hidratada, o carbonato de calcio, durante la producción de los cuerpos compactos para material usando el mineral de hierro y la sustancia carbonosa con el fin de ajustar la basicidad (es decir, la proporción de CaO/SiO₂) de los componentes globales de contenido en escoria en los cuerpos compactos para material de 0,6 a 1,8, y más preferentemente de 0,9 a 1,5, incluyendo los componentes globales de escoria el componente de ganga en el mineral de hierro, etc.

40 Obsérvese que el coque o el carbón, que es el agente reductor carbonoso usado más comúnmente, normalmente contiene de aproximadamente un 0,2 a un 1,0 % de azufre. La mayoría del contenido en azufre en su interior se captura en el hierro metálico. Si no se realiza un ajuste de basicidad de forma intencionada usando una fuente de CaO, la basicidad calculada basándose en la composición de la escoria en los cuerpos compactos para material es usualmente de 0,3 o menos, a pesar de que la basicidad varía significativamente de acuerdo con el tipo de mineral de hierro. En una escoria que tiene una basicidad baja de este tipo, no puede evitarse que el azufre se mezcle con el hierro metálico durante el proceso de reducción en sólido o el proceso posterior de la carburación, fusión y cohesión. Aproximadamente un 85 % del azufre total en los cuerpos compactos para material se incluirá en el hierro metálico. Como resultado, el contenido en azufre de las pepitas de hierro metálico se aumenta, y la calidad del producto final de hierro metálico se deteriora.

50 Se confirmó que la adición de forma intencionada de una fuente de CaO durante la etapa de producción de cuerpos compactos para material con el fin de ajustar la composición del componente de escoria hasta exhibir una basicidad de 0,6 a 1,8, el azufre puede fijarse en los productos secundarios de tipo escoria que se producen durante la reducción en sólido y la carburación, fusión y cohesión. Como resultado, el contenido en azufre en las pepitas de hierro metálico puede reducirse drásticamente.

60 Se considera que la reducción del contenido en azufre tiene lugar cuando se permite que el contenido en azufre en los cuerpos compactos para material reaccione con CaO y se fija por lo tanto como CaS (CaO + S = CaS). Convencionalmente, cuando el mecanismo de reducción por fusión descrito anteriormente no se conocía con claridad, se consideraba que un efecto de desulfuración comparable al de una desulfuración de metal caliente no podía lograrse mediante la adición de CaO. No obstante, los presentes inventores han confirmado que el CaO en la escoria captura el azufre cuando el hierro reducido se funde, forma pepitas, y se separa de la escoria debido a la carburación que produce el carbono residual en el interior del metal reducido, y por lo tanto el contenido en azufre en las pepitas de hierro metálico resultantes puede disminuirse drásticamente.

65

Un mecanismo de reducción de azufre de este tipo es diferente de una desulfuración de metal caliente normal que usa escoria con contenido en CaO y se considera como una reacción exclusiva para el proceso descrito anteriormente. Por supuesto, si el hierro reducido carburado y fundido se pone lo suficiente en contacto con el producto secundario de escoria fundida en unas condiciones de calentamiento apropiadas, una reacción líquido-líquido (hierro fundido-escoria fundida) puede determinar la proporción del contenido en S en la escoria (% de S) con respecto al contenido en S en las pepitas de hierro metálico [% de S], es decir, la proporción de la distribución del azufre (% de S)/[% de S]. No obstante, tal como puede confirmarse mediante la fotografía que se muestra en la figura 9, el área de contacto escoria-metal del hierro fundido y de la escoria fundida producidos es pequeña. Por lo tanto, no puede esperarse una gran reducción de azufre de la reacción de equilibrio escoria-metal después de que se carbure, se funda, y se adhiera el hierro reducido. En consecuencia, puede suponerse que el mecanismo de desulfuración de la adición de CaO de forma intencionada en los cuerpos compactos para material que se emplean en el proceso anterior incluye una reacción que captura el azufre que es peculiar del CaO durante la carburación, fusión y cohesión de hierro reducido, evitando la reacción de captura del azufre la sulfuración de las pepitas de hierro metálico.

La cantidad del CaO que se añade para ajustar la basicidad ha de determinarse basándose en la cantidad y la composición del componente de ganga contenido en el mineral de hierro o similar y en el tipo y en la cantidad de la sustancia carbonosa que se añade al material. Una cantidad de CaO convencional que se requiere para ajustar la basicidad del componente de escoria global en el intervalo descrito anteriormente de 0,6 a 1,8 es, en términos de CaO puro, de un 2,0 a un 7,0 %, y más preferentemente de un 3,0 a un 5,0 %, de CaO en la totalidad de los compuestos. Cuando se usa cal hidratada $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ o carbonato de calcio (CaCO_3), la cantidad del mismo ha de convertirse a CaO. Se confirmó que cuando había un contenido de un 4 % de CaCO_3 en los cuerpos compactos para material para ajustar la basicidad del componente de escoria de aproximadamente 0,9 a 1,1, se obtuvo una proporción de desulfuración aparente de un 45 a un 50 %. La proporción de desulfuración aparente se determinó mediante la ecuación a continuación. Cuando el contenido de CaCO_3 en los cuerpos compactos para material fue de un 6 % para ajustar la basicidad del componente de escoria de aproximadamente 1,2 a 1,5, se obtuvo una proporción de desulfuración aparente de un 70 a un 80 %.

$$\text{Proporción de desulfuración aparente (\%)} = \frac{\text{contenido en S (\%)} \text{ en las pepitas de hierro metálico producidas a partir de cuerpos compactos para material con CaO añadido}}{\text{contenido en S (\%)} \text{ en las pepitas de hierro metálico producidas a partir de cuerpos compactos para material que no usan un CaO aditivo}} \times 100$$

El efecto de añadir una fuente de CaO al material tras la reducción de azufre se describirá basándose en datos experimentales tomados usando un horno en caja. La figura 10 muestra cambios en el contenido en azufre cuando se realiza una reducción por fusión tal como se describe anteriormente usando mineral de hierro, una sustancia carbonosa, una pequeña cantidad de aglutinante (bentonita, o similar), y una cantidad de CaO adecuada.

En la figura 10, "cuerpo compacto seco", se muestra que, de un contenido en azufre de un 100 % en el material antes de la reducción por fusión, aproximadamente un 89 % estaba contenido en la sustancia carbonosa (carbón) y aproximadamente un 11 % estaba contenido en el mineral de hierro. Cuando los cuerpos compactos se sometieron a la reducción por fusión, aproximadamente un 85 % de azufre permaneció en el hierro reducido tras la finalización de la reducción en sólido lo que se explicó anteriormente con referencia a la figura 4. Aproximadamente un 12 % de azufre se evaporó y se descargó del horno. Cuando se usaron cuerpos compactos sin contenido en ninguna fuente de CaO aditivo (siendo la basicidad calculada del componente de escoria en el compuesto de 0,165), se capturó un 74,8 % de azufre en el producto final de pepitas de hierro metálico, y se capturó un 10,2 % de azufre en la escoria.

Cuando se usaron cuerpos compactos para material que tienen su basicidad del componente de escoria ajustada a 1,15 añadiendo un 3 % de una fuente de CaO, la cantidad de azufre capturada en las pepitas de hierro metálico se redujo a un 43,2 %, y la cantidad de azufre capturada en la escoria se aumentó a un 48,8 %. La cantidad de azufre que se evaporó y que se descargó al exterior del horno durante el proceso de manufacturación, se redujo a aproximadamente un 8 %. Cuando se usaron cuerpos compactos para material que tienen su basicidad del componente de escoria ajustada a 1,35 añadiendo un 5 % de una fuente de CaO, la cantidad de azufre capturada en las pepitas de hierro metálico se redujo a un 18,7 %, y la cantidad de azufre capturada en la escoria se aumentó a un 78,8 %. La cantidad de azufre que se evaporó y que se descargó al exterior del horno durante el proceso de manufacturación se vio reducida a un 1,5 %.

Los experimentos básicos anteriores que usan un horno en caja mostraron que el ajuste de basicidad añadiendo una fuente de CaO fue particularmente efectivo en la reducción de la cantidad de contenido en azufre en el hierro metálico. El mismo experimento se llevó a cabo usando un reactor de prueba. En el experimento, el efecto de la basicidad sobre la reducción de azufre de las pepitas de hierro metálico se examinó cuantitativamente variando la cantidad de la fuente de CaO para rendir unas basicidades de escoria diferentes. Los resultados se muestran en la figura 11.

Esta gráfica ilustra la relación entre la basicidad final de la escoria y el contenido en azufre en las pepitas de hierro metálico. En el experimento, la escoria se produjo a la vez que se hizo variar la cantidad de la fuente de CaO, y cada uno de los puntos en la gráfica muestra un resultado real. La región sombreada en la gráfica muestra los resultados de los experimentos básicos descritos anteriormente usando un horno en caja. Debido a que los experimentos básicos emplearon un procedimiento de calentamiento eléctrico y usaron un gas inerte como gas de la atmósfera, el potencial de oxidación de la atmósfera fue bajo, lo que ventajosamente afecta a la proporción de desulfuración aparente. Por el contrario, el horno de prueba empleó una combustión por quemador, y por lo tanto el grado de reducción del gas de la atmósfera fue bajo debido a la generación de gas de combustión en comparación con el de los experimentos básicos. El contenido en azufre en las pepitas de hierro metálico fue más alto que en los resultados de los experimentos básicos. No obstante, la tendencia básica fue sustancialmente la misma que la que se muestra mediante los resultados de los experimentos básicos. Podría confirmarse que cuando no se añadió ninguna fuente de CaO, el contenido en azufre en las pepitas de hierro metálico en la región A fue de aproximadamente un 0,12 %. Cuando la basicidad se ajustó a aproximadamente 1,0, el contenido en S se redujo de un 0,05 a un 0,08 %, tal como se muestra en la región B, y la proporción de desulfuración aparente fue de aproximadamente un 33 a un 58 %. Cuando la basicidad se aumentó a 1,5, el contenido en azufre en el hierro metálico se redujo a aproximadamente un 0,05 %, tal como se muestra en la región C.

Cuando se añade una fuente de CaO para aumentar la basicidad de la escoria a 1,8 o más, el punto de fusión de la escoria producida aumenta, y la temperatura de funcionamiento debe por lo tanto aumentarse hasta un nivel excesivamente alto. Como resultado, el daño al horno se acelera, y el rendimiento térmico se deteriora. Además, la propiedad de cohesión del hierro reducido se deteriora, y el hierro metálico resultante se obtiene como partículas diminutas más pequeñas que 1 mm que tienen un valor de producto bajo.

Tal como resulta evidente a partir de estos experimentos, cuando una cantidad adecuada de una fuente de CaO se añade de forma intencionada a los cuerpos compactos para material para aumentar la basicidad del componente de escoria a aproximadamente 0,6 o más, la escoria producida captura una cantidad significativamente más grande de azufre, y la cantidad de azufre capturada en las pepitas de hierro metálico puede por lo tanto reducirse significativamente. Como resultado, pueden manufacturarse fácilmente pepitas de hierro metálico que satisfacen el nivel del contenido en azufre que se requiere en la presente invención, es decir, unas pepitas de hierro metálico que tengan un contenido en azufre de un 0,08 % o menos. Además, tal como se describe anteriormente con referencia a la figura 10, la cantidad de azufre que se descarga al exterior del horno como SO_x o similar durante una serie de etapas de manufacturación de pepitas de hierro metálico puede reducirse drásticamente. Por lo tanto, la contaminación del aire debido al gas efluente puede minimizarse. Además, la carga de la desulfuración del gas efluente puede reducirse significativamente si se realiza un tratamiento de desulfuración del gas efluente.

Cuando la fuente de CaO se añade para reducir el contenido en S, tal como se describe anteriormente, el fluir de la escoria de bajo punto de fusión que conduce a la disolución de los refractarios del crisol puede tener lugar durante el periodo de reducción por fusión debido a una disminución en el punto de fusión de los productos secundarios de tipo escoria dependiendo de la cantidad de la fuente de CaO añadida. Al implementar el proceso descrito anteriormente, se realiza preferentemente un procedimiento de calentamiento en dos fases, que incluye un periodo de reducción en sólido y un periodo de carburación, fusión y cohesión. Durante el periodo de reducción en sólido, la temperatura se ajusta preferentemente de 1.200 a 1.400 °C, y durante el periodo de carburación, fusión y cohesión, la temperatura se ajusta preferentemente de 1.350 a 1.500 °C. De esta forma, la reducción en sólido puede realizarse lo suficientemente por debajo del punto de fusión de los productos secundarios de tipo escoria, y, posteriormente, la reducción del FeO restante, y la carburación, fusión y cohesión del hierro reducido puede realizarse para minimizar el poco deseable fluir de los productos secundarios de tipo escoria.

Al producir hierro metálico, mediante en primer lugar la reducción en sólido de cuerpos compactos para material con contenido en mineral de hierro y una sustancia carbonosa y a continuación la carburación, fusión, y adhesión del material resultante, la cantidad del agente reductor carbonoso en los cuerpos compactos para material, las condiciones de temperatura durante la reducción en sólido, y la composición del gas de la atmósfera y las condiciones de temperatura durante la carburación y fusión, y similar ha de ajustarse de forma adecuada. De esta forma, pueden realizarse eficientemente la reducción, la carburación, fusión y cohesión y la incorporación, y pueden obtenerse unas pepitas de hierro metálico que tienen una alta pureza de Fe, un contenido en carbono adecuado, y un diámetro adecuado. En estas condiciones, las pepitas de hierro metálico resultantes tienen un contenido en Si de un 0,02 a un 0,5 %, y un contenido en Mn de menos de un 0,3 %. El contenido en azufre de las pepitas de hierro metálico puede reducirse añadiendo de forma intencionada CaO en los cuerpos compactos para material con el fin de ajustar la basicidad del componente de escoria.

Las pepitas de hierro metálico resultantes de la presente invención tienen una alta pureza de Fe, un contenido en carbono adecuado, una forma uniforme, y un tamaño de 1 a 30 mm. Por lo tanto, las pepitas de hierro metálico de la presente invención exhiben una alta calidad de manejo y pueden por lo tanto usarse de forma efectiva a modo de fuente de hierro para la producción de hierro, acero, o diversos aceros de aleación.

Ejemplos

La presente invención se describirá en detalle usando ejemplos. Estos ejemplos no limitan el alcance de la presente invención. Diversas modificaciones son posibles sin apartarse del alcance de la invención que se describe en el presente documento. Estas modificaciones se incluyen en el alcance técnico de la presente invención.

Ejemplo 1 (referencia)

Se produjeron cuerpos compactos para material que tienen un diámetro de aproximadamente 19 mm mezclando de manera uniforme mineral de hematita, es decir, una fuente de hierro, carbón, y una pequeña cantidad de un aglutinante (bentonita). Se produjo hierro metálico usando estos cuerpos compactos para material. Los cuerpos compactos para material se alimentaron al interior de un horno de reducción por fusión de tipo de crisol giratorio, que se muestra en las figuras 1 a 3, y se realizó la reducción en sólido a una temperatura de la atmósfera de aproximadamente 1.350 °C hasta que se alcanzó una proporción de metalización de aproximadamente un 90 %. Posteriormente, los cuerpos compactos para material resultantes se transfirieron a la zona de carburación, fusión y cohesión a una temperatura de la atmósfera de 1.440 °C con el fin de realizar la carburación, fusión y cohesión, y con el fin de separar los productos secundarios de tipo escoria para hacer pepitas de hierro metálico libres de escoria.

En este proceso, se preparó un lecho de polvo de carbón, es decir, de un agente de ajuste de la atmósfera, que tenía un diámetro de 2 mm o menos, en un crisol a un espesor de aproximadamente 5 mm antes de que se alimentaran los cuerpos compactos para material al horno con el fin de controlar el grado de reducción del gas de la atmósfera durante el periodo de carburación, fusión y cohesión en el intervalo de 0,60 a 0,75. En la figura 12 se muestran la composición del material, la composición del hierro reducido después de la finalización de la reducción en sólido, la composición del producto final de hierro metálico, la composición de la escoria producida, etc.

El hierro metálico que se ha fundido, adherido, y que sustancialmente se ha separado de forma completa respecto de la escoria se transfirió a continuación a una zona de enfriamiento para enfriarse a una temperatura de 1.000 °C y se solidificó, y se descargó al exterior del horno con un dispositivo de descarga. Se analizaron las proporciones de producción y las composiciones de las pepitas de hierro metálico recuperadas, los productos secundarios de tipo escoria, y la sustancia carbonosa en exceso. El hierro reducido inmediatamente antes de la carburación y fusión se muestreó a partir del horno de reducción por fusión para analizar la composición del hierro reducido inmediatamente antes de la carburación y fusión. Los resultados mostraron que la proporción de metalización fue de aproximadamente un 90 %, y que el contenido en carbono residual fue de un 4,58 %. El tiempo que transcurrió entre la alimentación de los cuerpos compactos para material y la descarga del hierro metálico fue notablemente corto, esto es, de aproximadamente 9 minutos. El hierro metálico resultante tuvo un contenido en carbono de un 2,88 %, un contenido en Si de un 0,25 %, y un contenido en S de un 0,165 %. El hierro metálico resultante pudo separarse fácilmente de los productos secundarios de tipo escoria. En la figura 13 se muestra una fotografía de las pepitas de hierro metálico producidas. Las pepitas de hierro metálico tuvieron un diámetro de alrededor de 10 mm y un tamaño sustancialmente uniforme.

Ejemplo 2

Se produjeron cuerpos compactos para material con un diámetro de aproximadamente 19 mm, mezclando de manera uniforme mineral de magnetita, es decir, una fuente de hierro, carbón, una pequeña cantidad de un aglutinante (bentonita), y un 5 % de CaCO_3 a modo de agente de ajuste de basicidad de escoria y dando forma de cuerpos compactos a la mezcla resultante.

Los cuerpos compactos para material se alimentaron en un lecho de polvo de carbón (diámetro promedio: aproximadamente 3 mm) que tenía un espesor de aproximadamente 3 mm, formándose el lecho de polvo de carbón en un crisol. El polvo de carbón se usó a modo de agente de ajuste de la atmósfera. La reducción en sólido se realizó como en el ejemplo 1, a la vez que se mantuvo la temperatura de la atmósfera a aproximadamente 1.350 °C hasta que la proporción de metalización alcanzó casi un 100 %. Posteriormente, los cuerpos compactos para material resultantes se transfirieron a una zona de fusión mantenida a 1.425 °C con el fin de realizar la carburación, la fusión, la cohesión y la separación de los productos secundarios de tipo escoria con el fin de producir hierro metálico libre de escoria. En la figura 14 se muestra la composición del material, la composición del hierro reducido después de la finalización de la reducción en sólido, la composición del producto final de hierro metálico, la composición de la escoria producida, etc.

El hierro metálico que se ha fundido, adherido, y que sustancialmente se ha separado de forma completa respecto de la escoria se transfirió a continuación a una zona de enfriamiento para enfriarse a una temperatura de 1.000 °C y se solidificó, y se descargó al exterior del horno con un dispositivo de descarga. Se analizaron las proporciones de producción y las composiciones de las pepitas de hierro metálico recuperadas, los productos secundarios de tipo escoria, y la sustancia carbonosa en exceso. El hierro reducido inmediatamente antes de la carburación y fusión se muestreó a partir del horno de reducción por fusión para analizar la composición del hierro reducido justo antes de la

carburación y fusión. Los resultados mostraron que la proporción de metalización fue de aproximadamente un 92,3 %, y el contenido en carbono residual fue de un 3,97 %.

5 El tiempo que transcurrió entre la alimentación de los cuerpos compactos para material y la descarga del hierro metálico fue notablemente corto, esto es, de aproximadamente 8 minutos. El hierro metálico resultante tuvo un contenido en carbono de un 2,10 %, un contenido en Si de un 0,09 %, y un contenido en S de un 0,07 %. Debido a que se añadió una fuente de CaO para disminuir el contenido en S en este ejemplo, el contenido en S fue más bajo que en el ejemplo 1. En la figura 15 se muestra una fotografía de las pepitas de hierro metálico producidas, y un 98 % o más de las pepitas de hierro tuvo un diámetro en el intervalo de 5 a 30 mm.

10 En este ejemplo, debido a que el punto de fusión de los productos secundarios de tipo escoria se disminuyó debido a la adición de la fuente de CaO, se temió que la escoria fundida fluyera durante el último periodo de la reducción en sólido. No obstante, en el ejemplo se empleó un proceso de calentamiento en dos fases en el que la temperatura durante el periodo de reducción en sólido se ajustó de 1.200 a 1.400 °C, para producir un hierro reducido que tiene una alta proporción de metalización mediante reducción en sólido, y a continuación el hierro reducido resultante se calentó de 1.350 a 1.500 °C. Además, debido a que se preparó un lecho de polvo de carbón, es decir, del agente de ajuste de la atmósfera, en un crisol, nunca tuvo lugar un problema de disolución de refractarios del crisol debido al fluir de la escoria fundida.

15 Se examinó en detalle la estructura microscópica del hierro reducido en la fase final de la reducción en sólido. En el ejemplo 1, en el que no se usó una fuente de CaO, se encontró Fe-(Mn)-S sobre la superficie del hierro reducido en una alta concentración. Se confirmó que, durante la carburación y fusión, se capturó Fe-(Mn)-S en el interior del hierro fundido. Por el contrario, en el ejemplo 2, en el que se usó una fuente de CaO, se permitió que la mayor parte del azufre reaccionara con la fuente de CaO y se solucionó durante la fase final de la reducción en sólido. Se confirmó que se evitó que el azufre entrara en el hierro fundido durante la etapa de carburación y fusión.

20 Se llevó a cabo otro experimento, tal como el experimento descrito anteriormente pero reemplazando el polvo de carbón que se usa a modo de agente de ajuste de la atmósfera con un polvo de carbón en partículas finas, que tiene un tamaño de partícula de 2,0 mm o menos. Se confirmó que el contenido en S en el hierro metálico resultante se disminuyó a un 0,032 %.

Ejemplo 3

35 Se llevó a cabo un experimento en las mismas condiciones que en el ejemplo 1, y en un horno real. En este experimento, se hizo variar el diámetro de los cuerpos compactos para material (gránulos) dentro del intervalo de 3 a 35 mm, para examinar el efecto del tamaño de los cuerpos compactos para material sobre el diámetro promedio y la masa promedio de las pepitas de hierro metálico resultantes. Los resultados se muestran en la figura 16.

40 Tal como resulta evidente a partir de esta gráfica, pueden manufacturarse de forma efectiva pepitas de hierro metálico que tienen un diámetro en el intervalo de 5 to 20 mm, es decir, el tipo de pepitas de hierro metálico que exhibe una calidad de manejo superior como producto final de hierro metálico, a partir de cuerpos compactos para material (gránulos secos) que tienen un diámetro de aproximadamente 10 a 35 mm.

Aplicabilidad industrial

45 La presente invención, que tiene la configuración que se describe anteriormente, proporciona unas pepitas de hierro metálico que tienen una alta pureza de Fe, un contenido adecuado en C, y un tamaño adecuado para su facilidad de manejo. Las pepitas de hierro metálico tienen además unos bajos contenidos en S, en Si, y en Mn, son sencillas de manejar a modo de fuente de hierro, y tienen una calidad fiable. Tal como se describe anteriormente, estas pepitas de hierro metálico pueden manufacturarse de forma eficiente y fiable con una alta reproducibilidad controlando de forma adecuada las condiciones de manufacturación.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Pepitas de hierro metálico producidas mediante la reducción por fusión de un material con contenido en un agente reductor carbonoso y un material con contenido en óxido de metal, comprendiendo las pepitas de hierro metálico al menos un 94 % en masa, lo que se indica en adelante en el presente documento como “ %”, de Fe y de un 1,0 a un 4,5 % de C, y teniendo un diámetro de 1 a 30 mm, en el que el diámetro se controla mediante al menos un tamaño del material, en las que la composición de las pepitas de hierro se controla para comprender adicionalmente un 0,20 % o menos de azufre, y de un 0,02 a un 0,2 % de Si y menos de un 0,3 % de Mn.
- 10 2. Pepitas de hierro metálico de acuerdo con la reivindicación 1, en las que las pepitas de hierro metálico se hacen calentando y reduciendo un óxido de metal en el material en un estado sólido, y calentando adicionalmente el hierro reducido resultante en una atmósfera reductora con el fin de carburar y fundir el hierro reducido resultante y permitir la formación de pepitas por parte del hierro reducido resultante a la vez que se evitan los productos secundarios de tipo escoria.
- 15 3. Pepitas de hierro metálico de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en las que el contenido en azufre de las pepitas de hierro metálico se reduce añadiendo una fuente de CaO al material para ajustar la basicidad (CaO/SiO_2) de un componente de escoria en el material de 0,6 a 1,8 con el fin de permitir por parte de la escoria producida durante la reducción por fusión la captura del azufre en su interior.
- 20 4. Pepitas de hierro metálico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en las que el contenido en azufre es de menos de un 0,08 %.
- 25 5. Pepitas de hierro metálico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en las que la cantidad del agente reductor carbonoso en el material se ajusta de tal modo que el contenido en carbono residual con una proporción de metalización de un 100 % después de la reducción mediante calentamiento es de un 1,5 a un 5,0 %.

FIG. 1

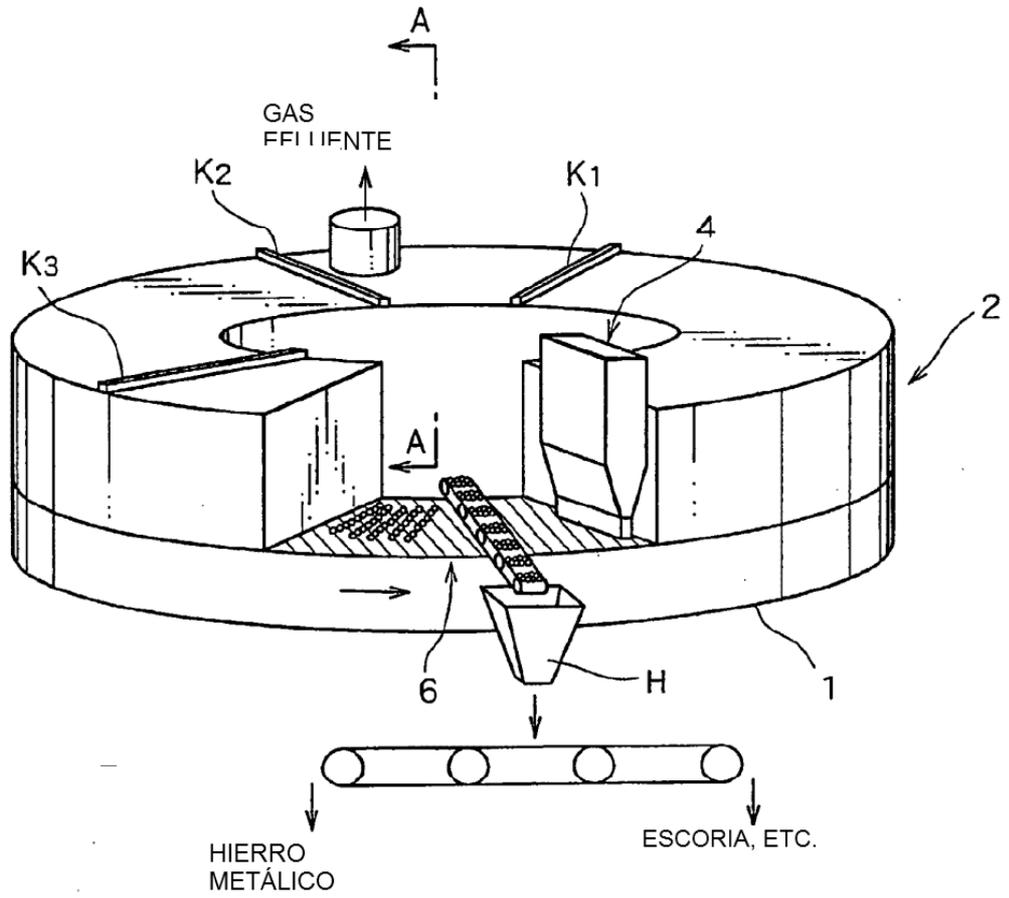


FIG. 2

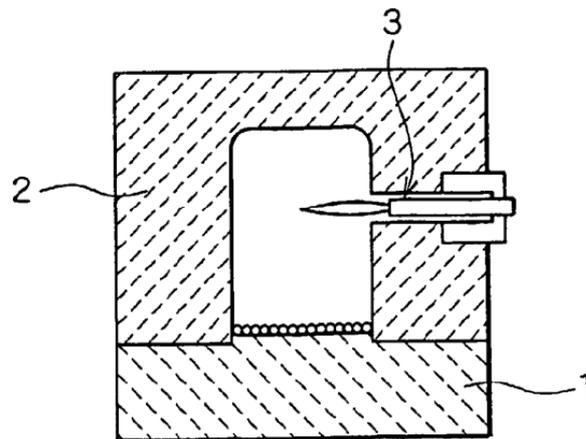


FIG. 3

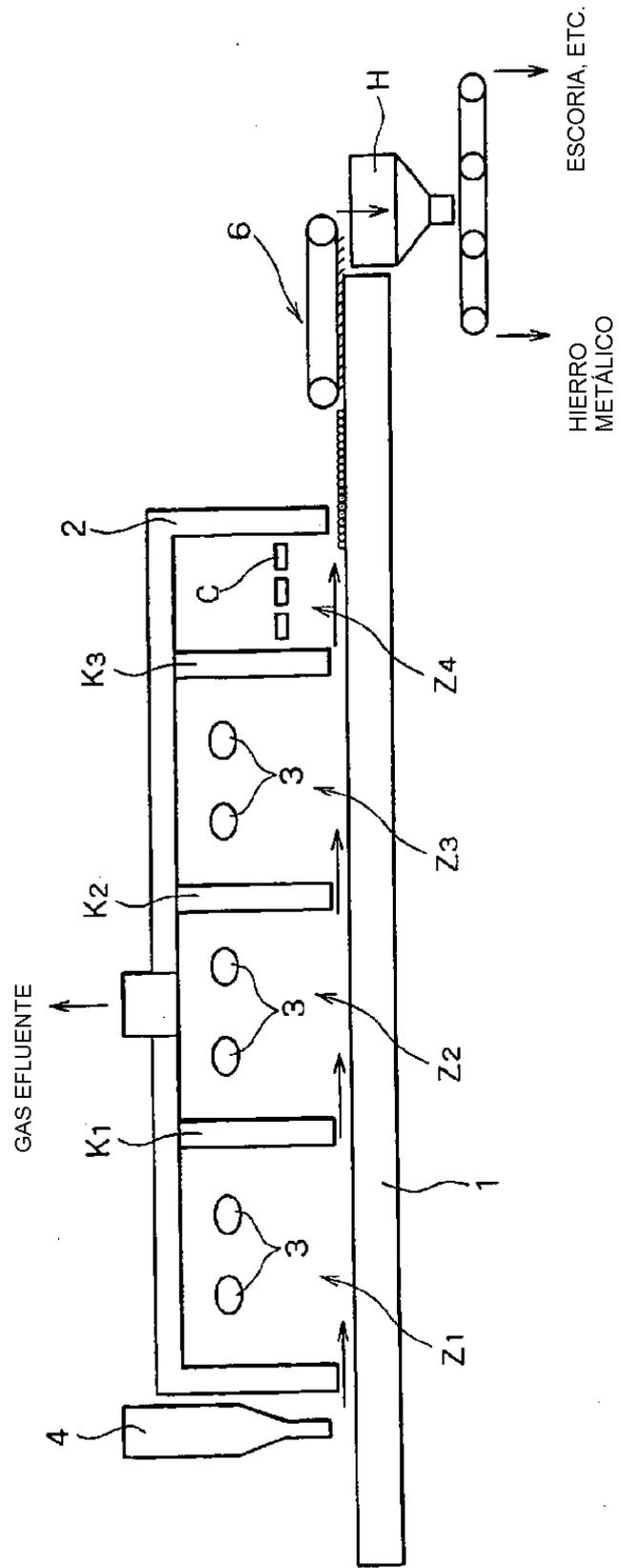


FIG.4

EJEMPLO DE CALENTAMIENTO EN DOS FASES EN REDUCCIÓN DE FUSIÓN

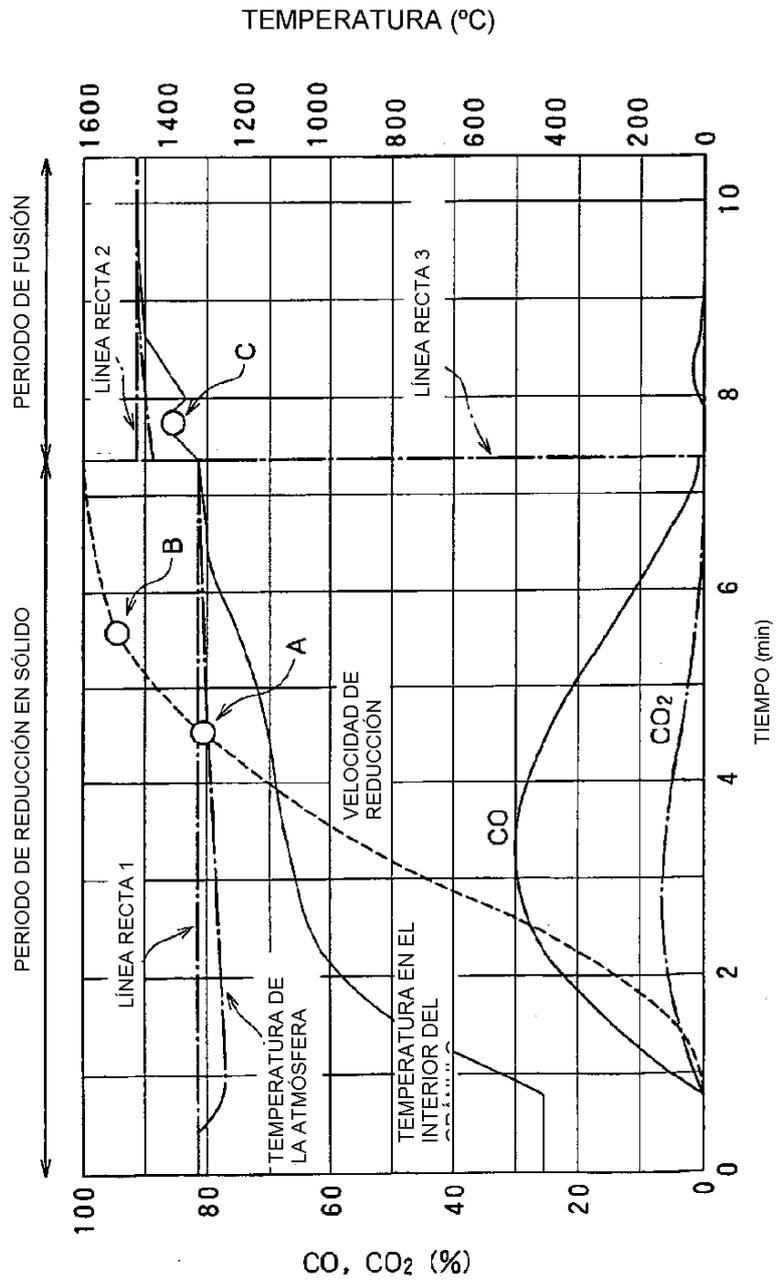


FIG. 5

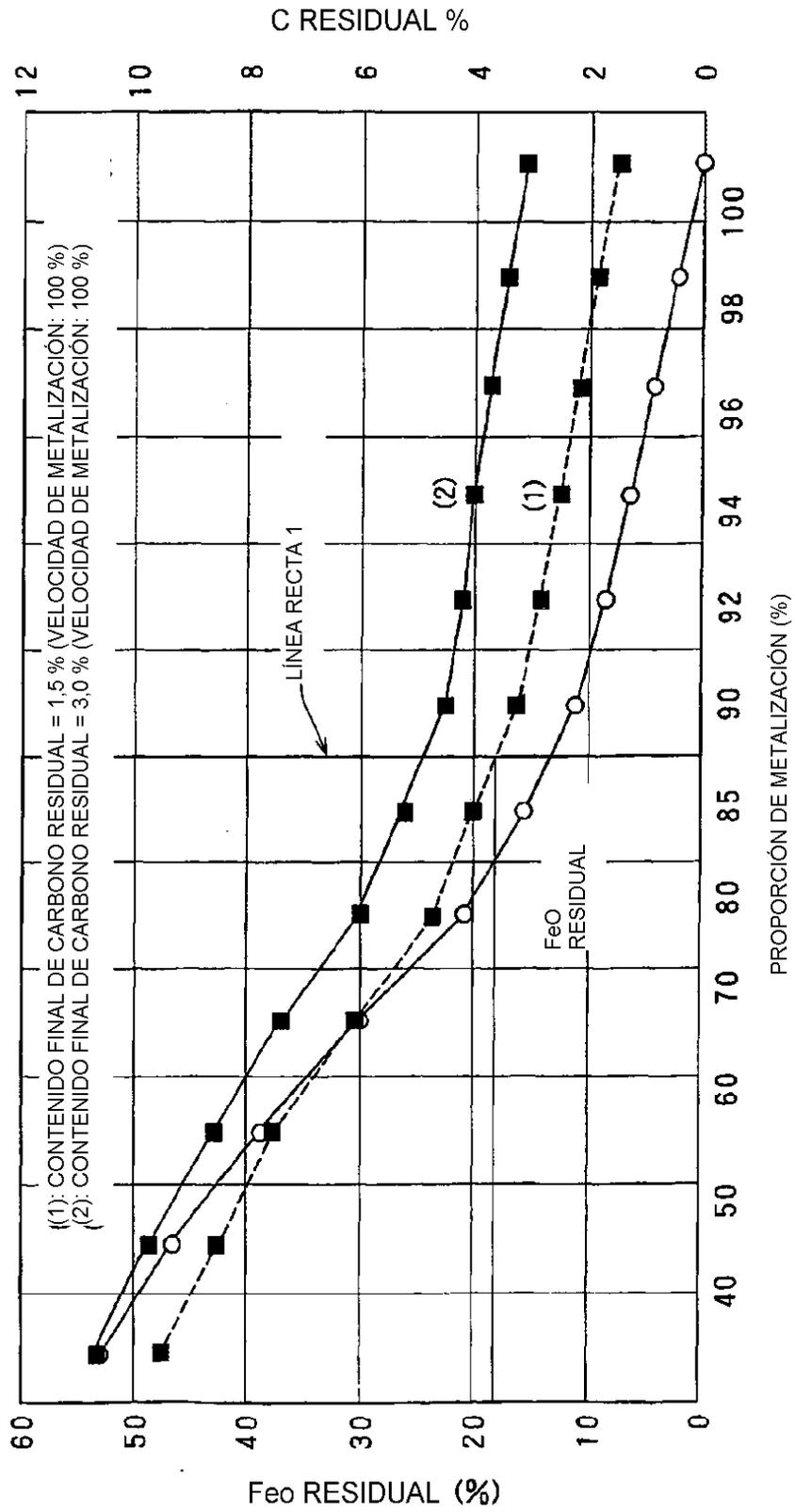


FIG. 6

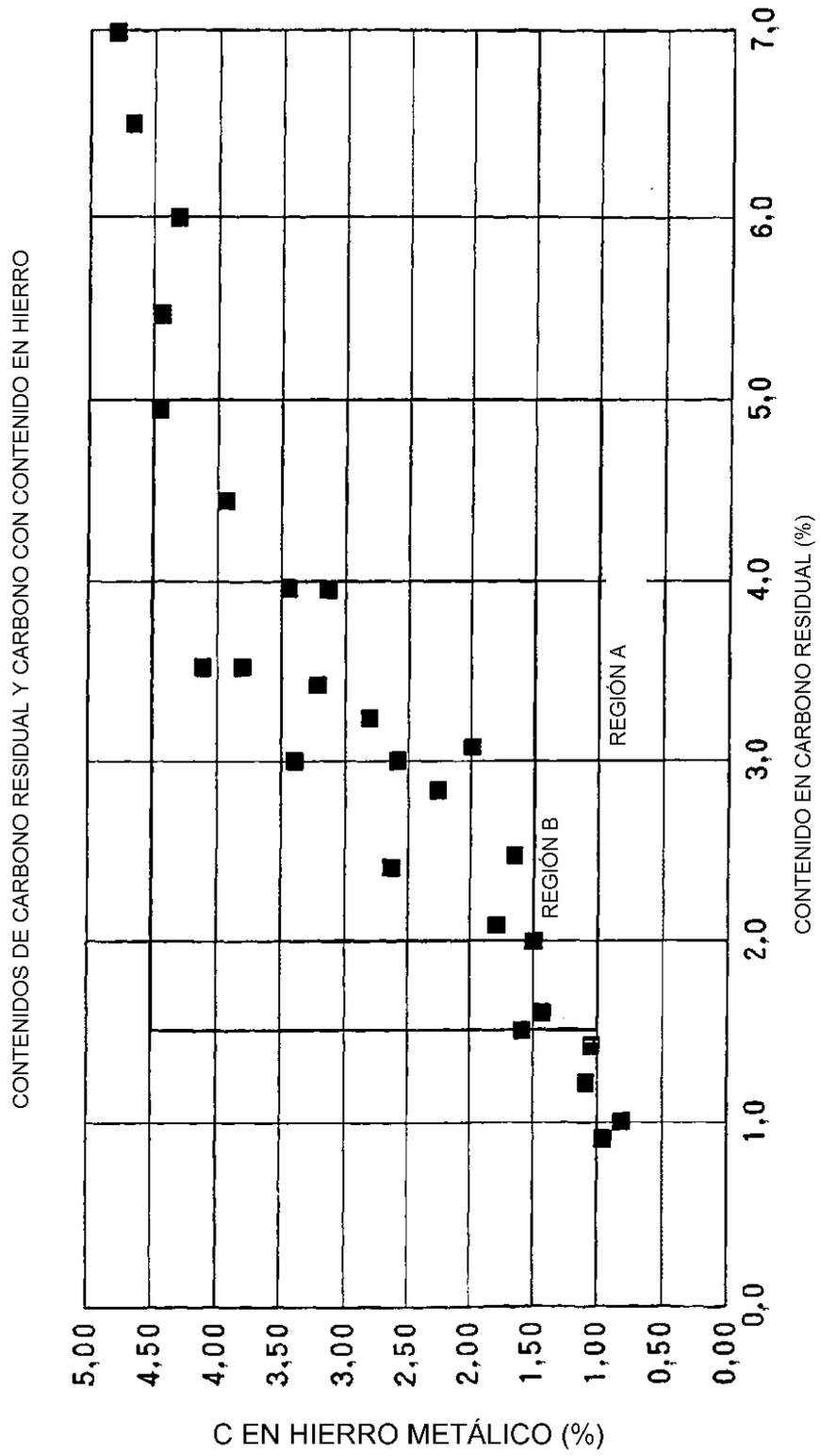


FIG.7

RELACIÓN ENTRE LA PROPORCIÓN DE METALIZACIÓN Y LA PROPORCIÓN DE REDUCCIÓN

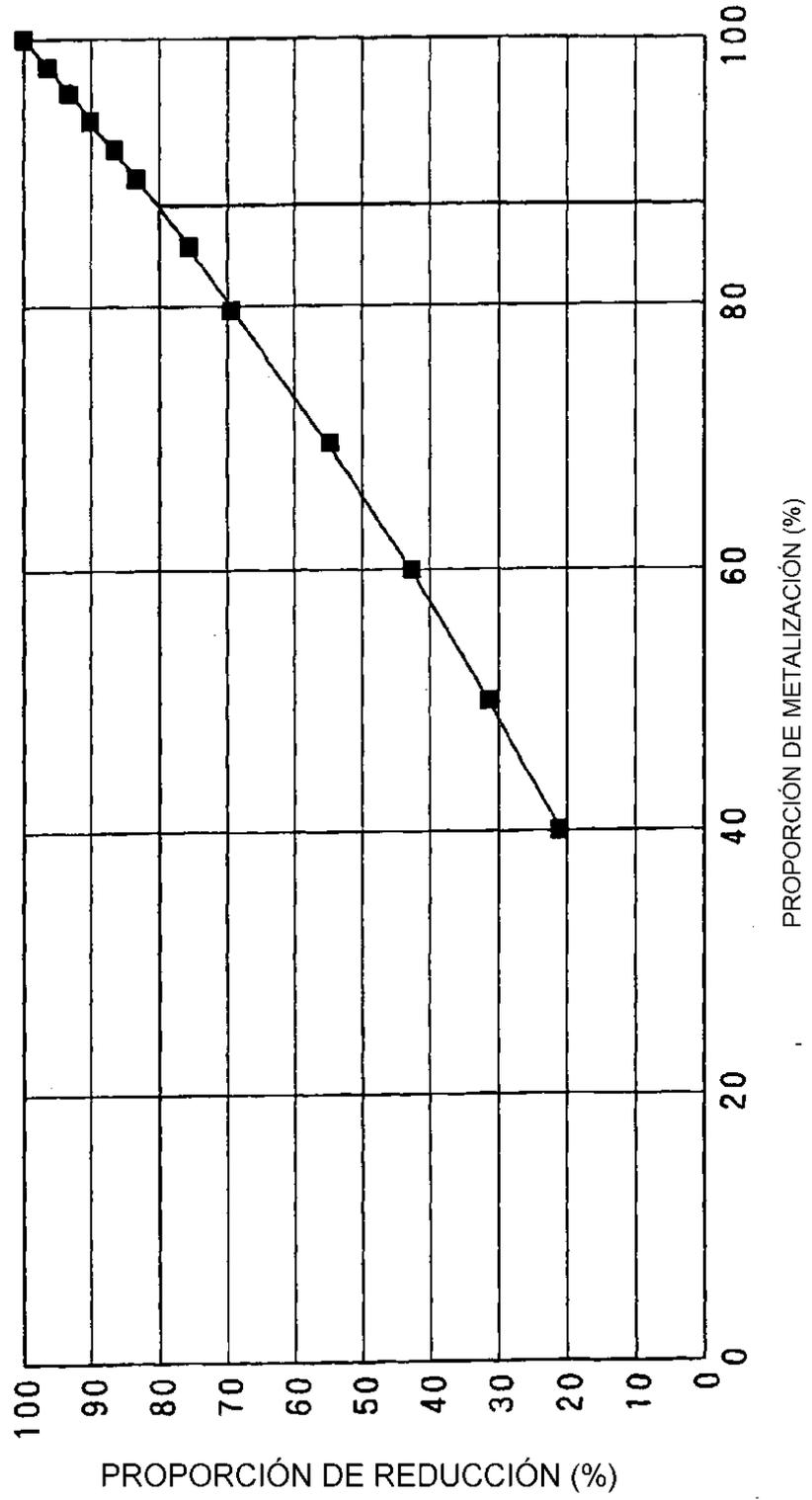


FIG. 8

EFFECTOS DEL AGENTE DE AJUSTE DE LA ATMÓSFERA

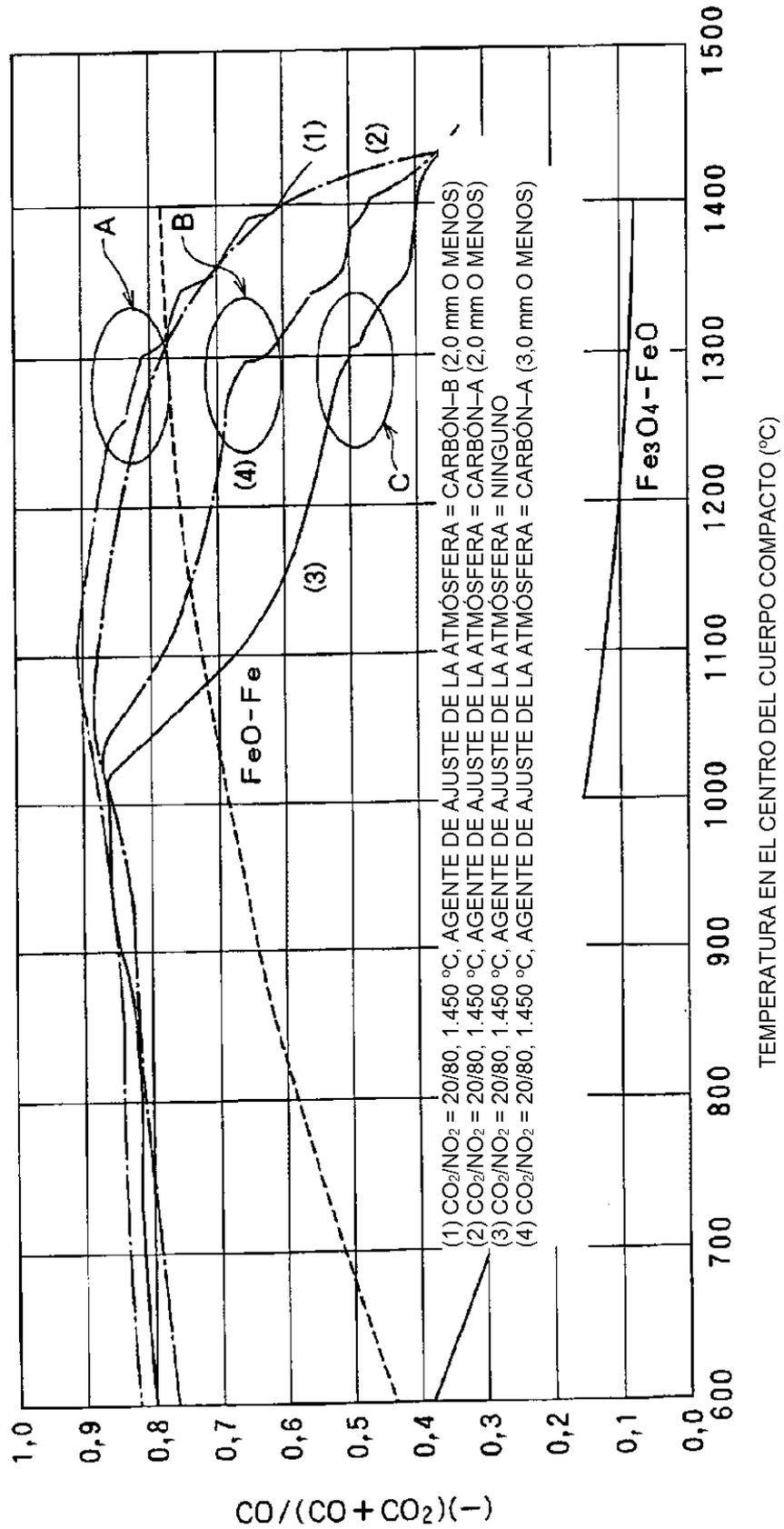


FIG. 9

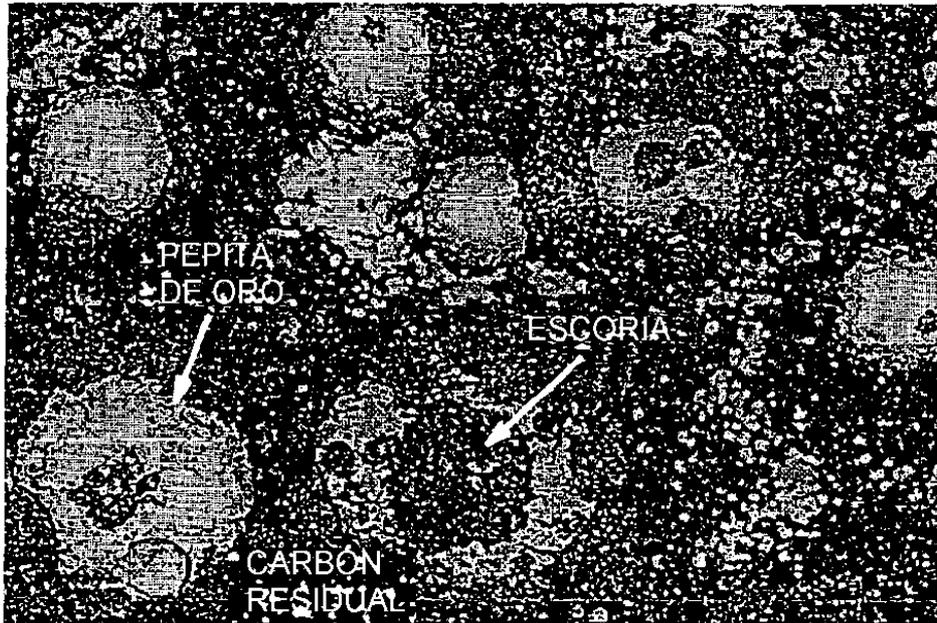


FIG.10

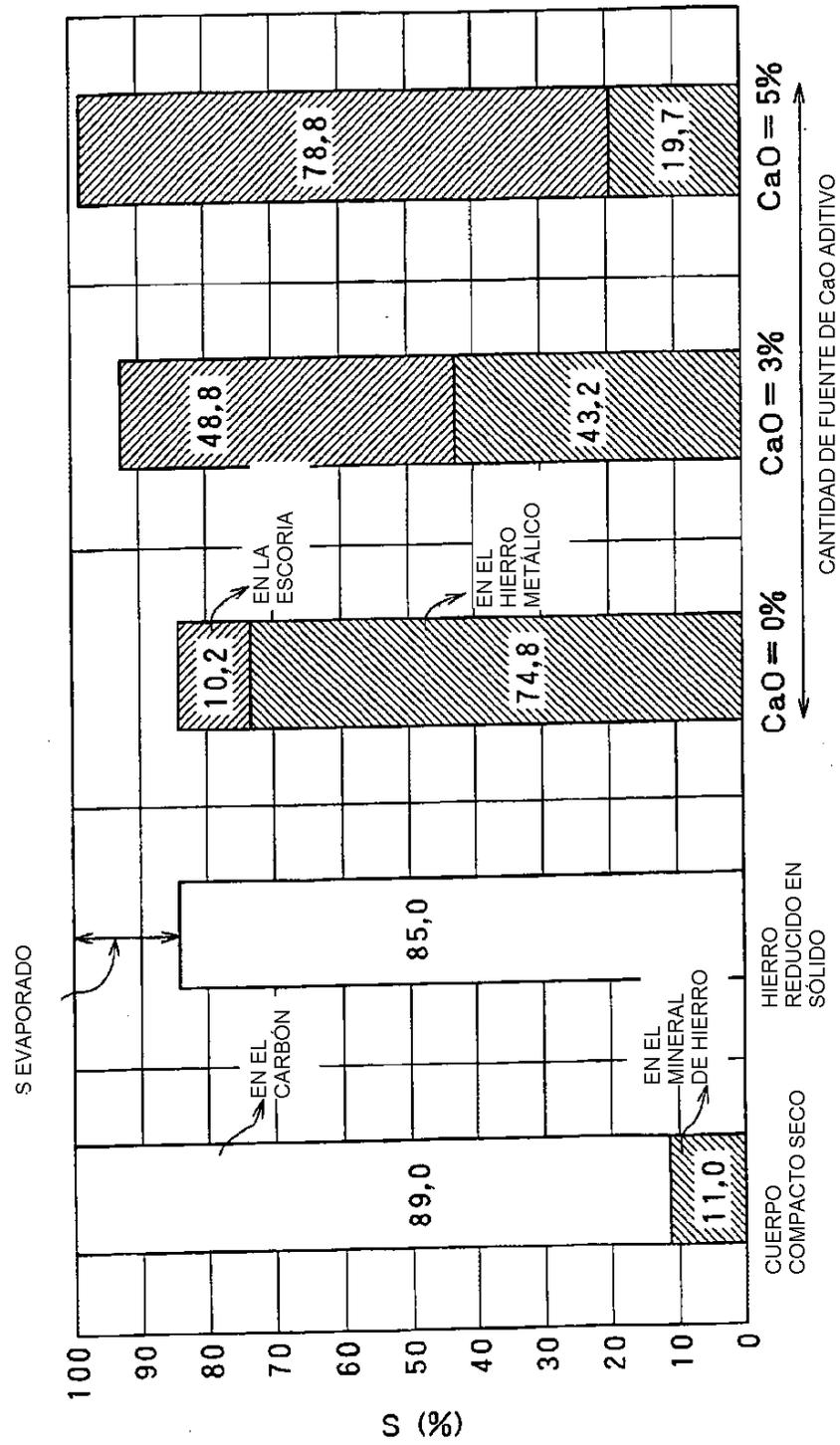


FIG. 11

RELACIÓN ENTRE BASICIDAD DE LA ESCORIA Y S EN EL HIERRO METÁLICO

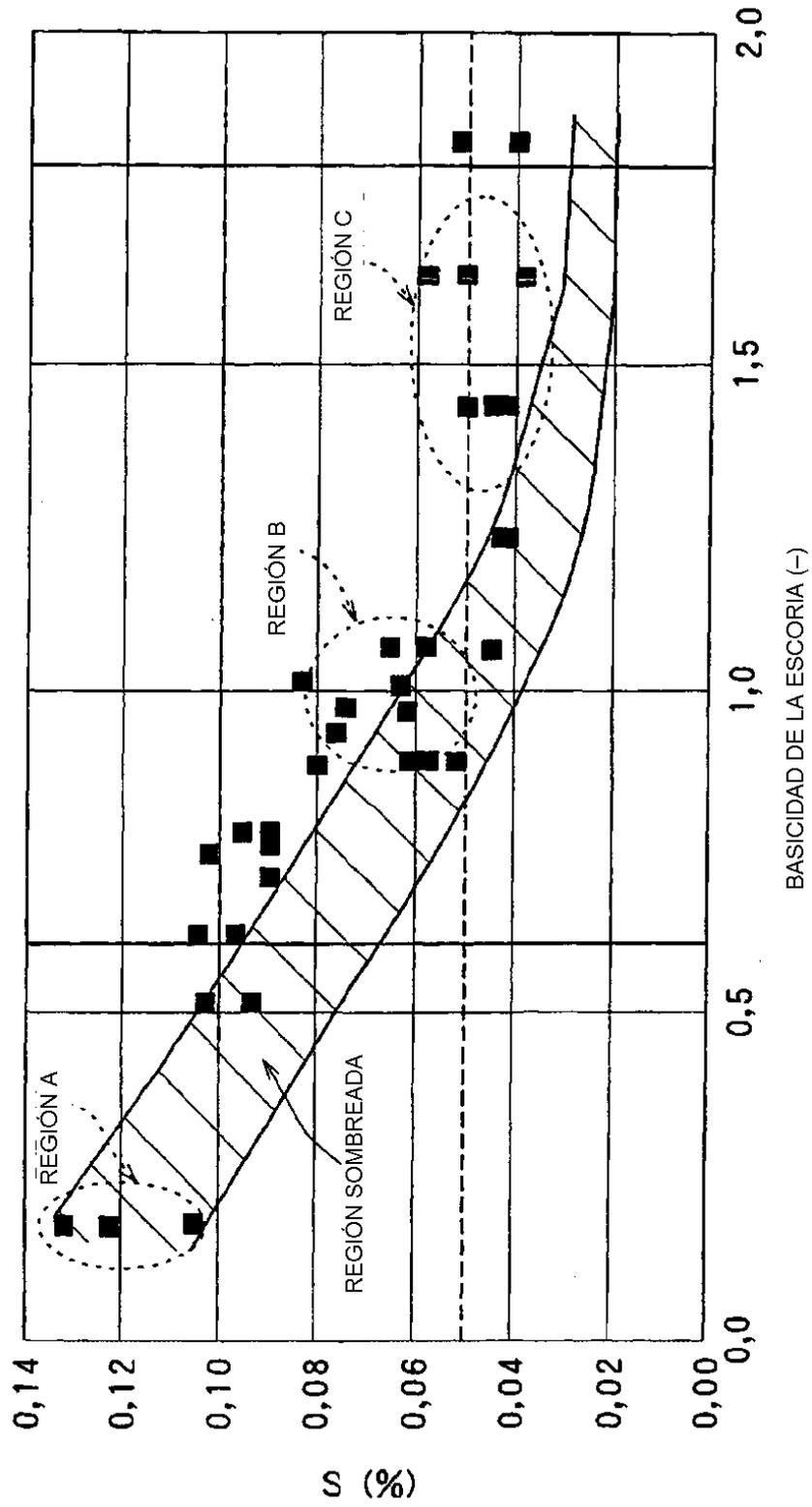


FIG. 12

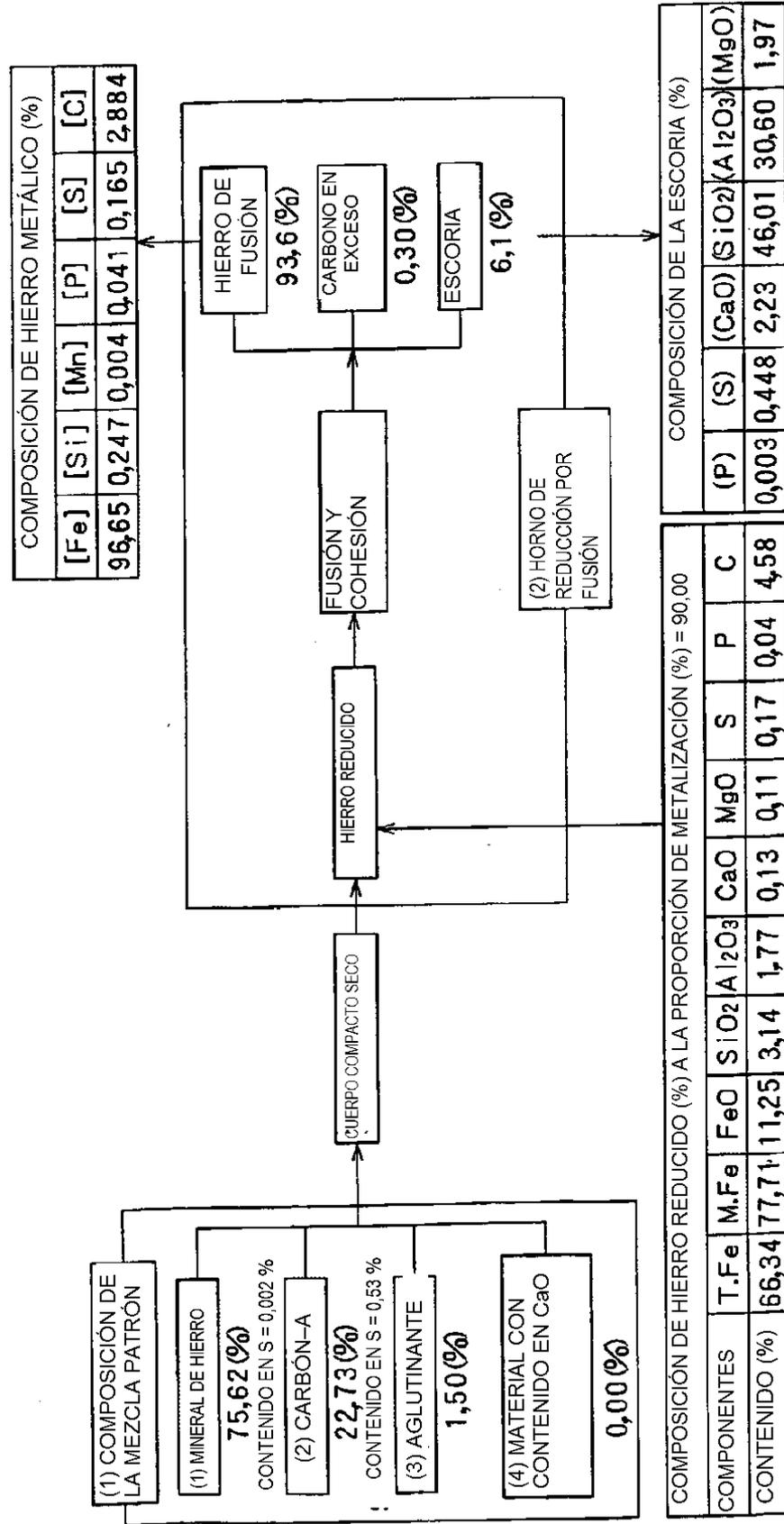


FIG. 13

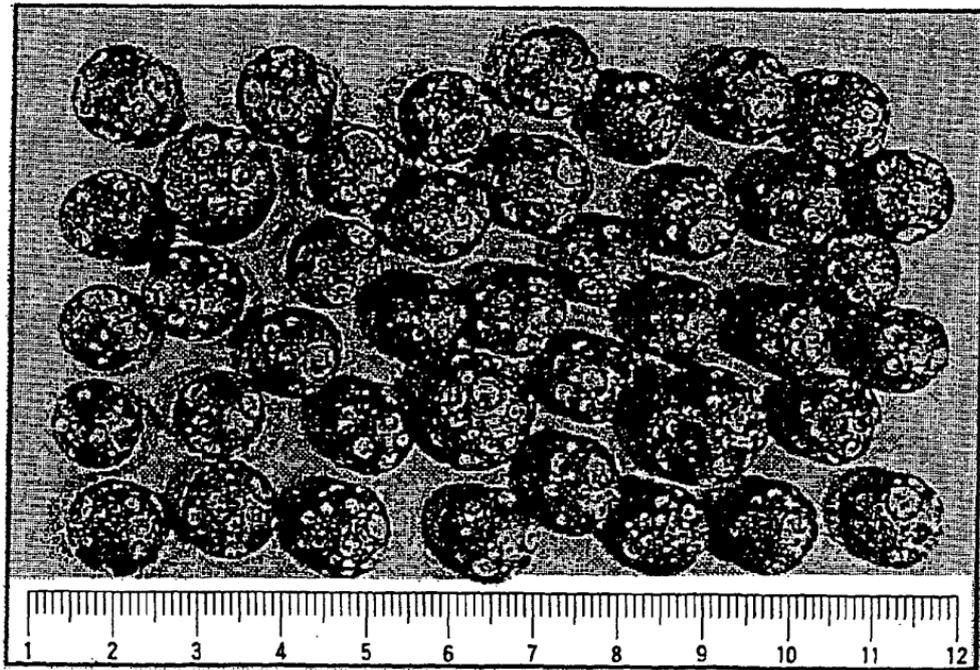


FIG. 14

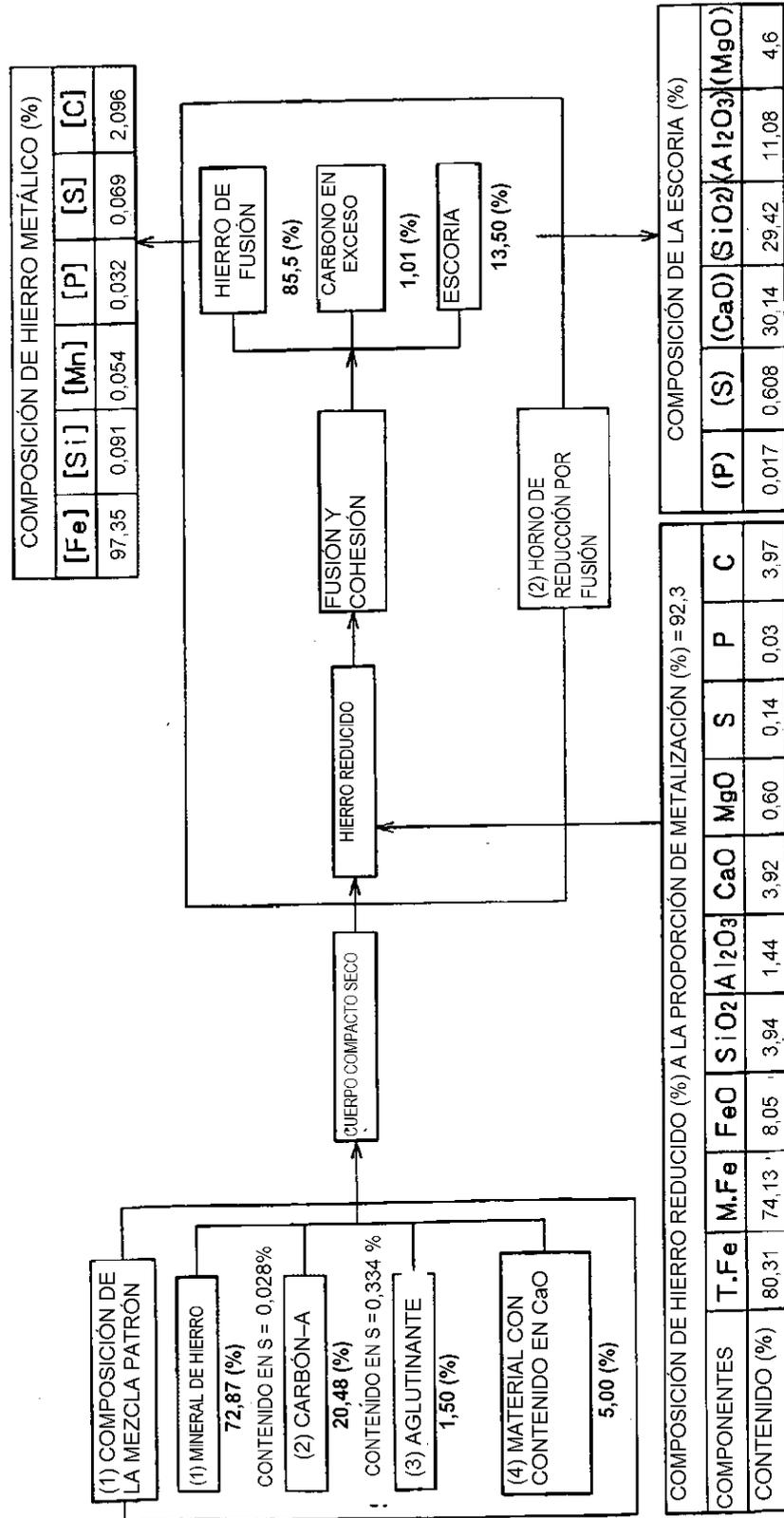


FIG. 15

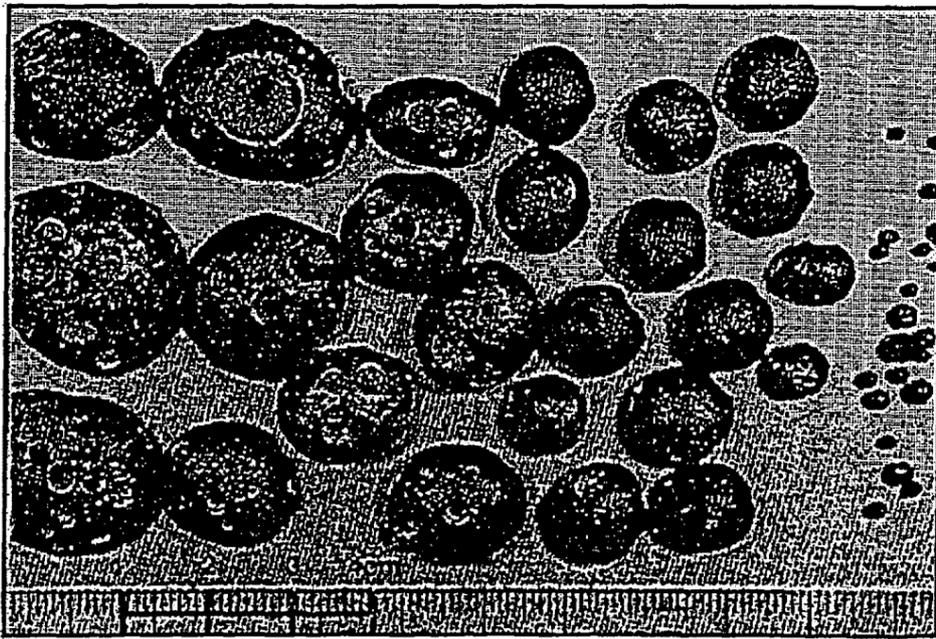
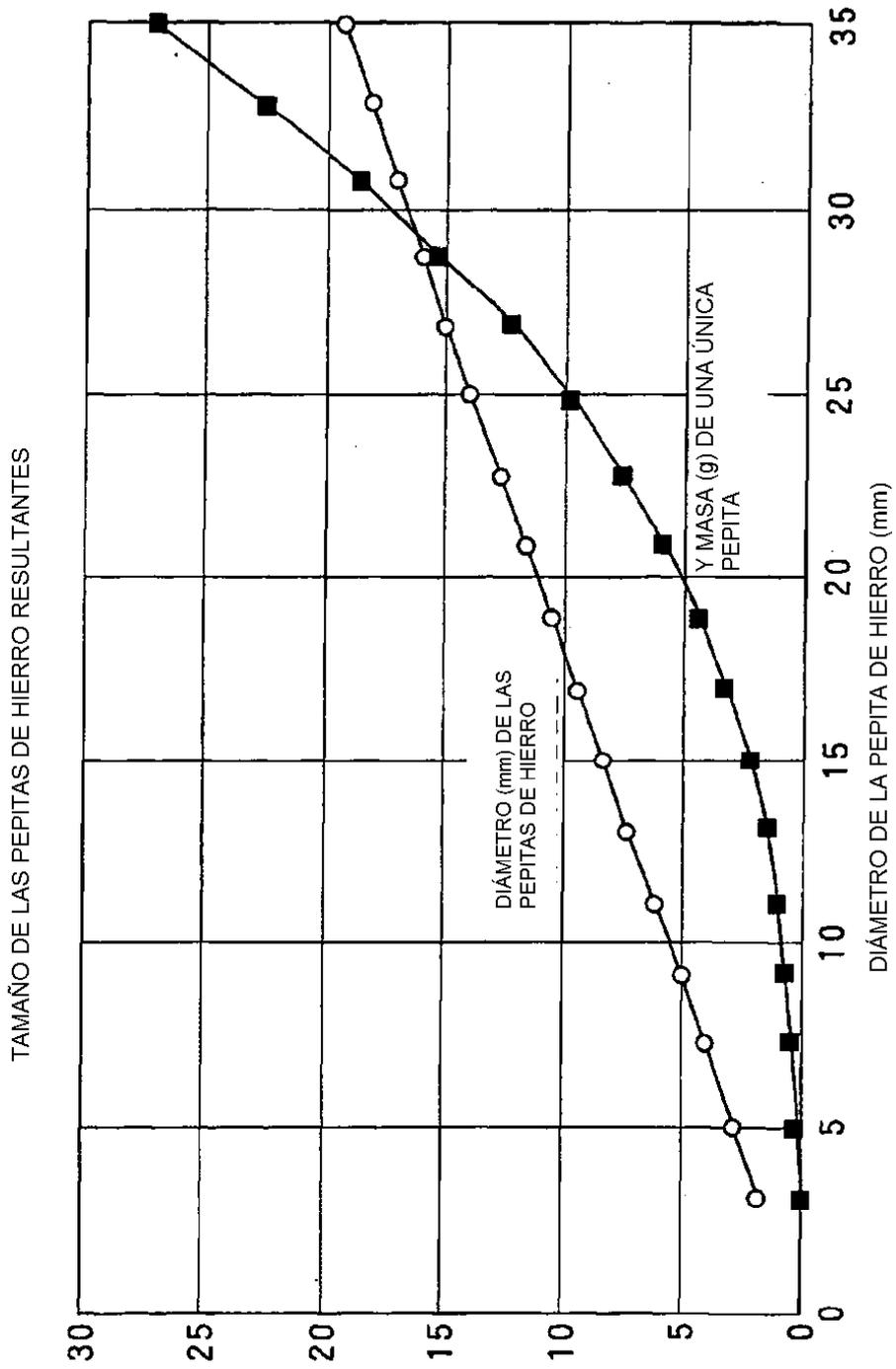


FIG. 16



DIÁMETRO (mm) DE LAS PEPITAS DE HIERRO Y MASA (g) DE UNA ÚNICA PEPITA