

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 719 148**

51 Int. Cl.:

C21B 5/00 (2006.01)

C21B 5/06 (2006.01)

F27D 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.01.2015 PCT/JP2015/050185**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.07.2015 WO15105107**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.01.2015 E 15735464 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2019 EP 3093352**

54 Título: **Método para el funcionamiento de un alto horno**

30 Prioridad:

07.01.2014 JP 2014000901

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

08.07.2019

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL CORPORATION (20.0%)
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku
Tokyo, JP;**

**JFE STEEL CORPORATION (20.0%);
KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBE
STEEL, LTD.) (20.0%);
NISSHIN STEEL CO., LTD. (20.0%) y
NIPPON STEEL & SUMIKIN ENGINEERING CO.,
LTD. (20.0%)**

72 Inventor/es:

**INADA, TAKANOBU;
SAKAI, HIROSHI y
UJISAWA, YUTAKA**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 719 148 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

Método para el funcionamiento de un alto horno

Campo técnico

5 La presente invención se refiere en general a un método para el funcionamiento de un alto horno. En particular, se refiere a un método para el funcionamiento de un alto horno relativo a (1) soplar un gas con un alto contenido de hidrógeno desde una tobera habitual, (2) soplar un gas de alto horno desde la tobera habitual o una tobera prevista en una etapa intermedia del horno, y (3) soplar un gas con un alto contenido de hidrógeno y un gas de alto horno desde la tobera habitual durante lo cual se realiza un enriquecimiento del 10% al 40% del gas soplado.

Técnica anterior

10 La producción de metal caliente en un alto horno requiere un material carbonoso como el coque, pero la reducción de la cantidad de consumo del material carbonoso por tonelada de metal caliente (a continuación, llamada "tasa de agente de reducción") es un objetivo principal para reducir los costes de fabricación y ha sido perseguido en el pasado.

15 Por ejemplo, PLT 1 tiene el objetivo de reducir costes aumentando tanto como sea posible la cantidad de consumo de carbón pequeño que no podía ser utilizado en operaciones de alto horno convencionales. PLT 1 describe un método para el funcionamiento de un alto horno que comprende soplar gas con una concentración de oxígeno del 40% o más o desde una tobera a temperatura ordinaria, y el método comprende soplar la parte del carbón pulverizado que contiene +2 mm de carbón de grano grueso en 5% a 30% y que tiene un tamaño de grano máximo de 5 mm en el carbón pulverizado desde la tobera o cerca de la tobera al horno. Además, PLT2 ajusta la relación del gas de alto horno soplado desde la tobera de vientre de alto horno y el gas de alto horno soplado desde la tobera inferior para hacer coincidir de este modo la cantidad de demanda de calor con la cantidad de suministro de calor del alto horno en el estado óptimo y permite una mejora notable del consumo de coque y la eficiencia de carga sobre los valores conocidos. Además, PLT3 describe un método para el funcionamiento de un alto horno soplando gas combustible junto con carbón pulverizado desde una tobera del alto horno para asegurar de este modo la combustibilidad del carbón pulverizado y mejorar la productividad y reducir el coste de combustible (sinónimo de tasa de agente de reducción). Además, PLT 4 tiene el objetivo del funcionamiento de alto horno de alta productividad, estable y describe un método para el funcionamiento de un alto horno que sopla un gas con una concentración de oxígeno del 30% a menos del 100% desde la tobera y que sopla gas previamente calentado desde una parte de vientre en una etapa intermedia del alto horno permitiendo de este modo la utilización de una gran cantidad de carbón pulverizado.

20 Diferentes innovaciones técnicas tales como las explicadas anteriormente han permitido una mejora notable de la eficiencia operativa y conducen al consumo de materiales carbonosos por tonelada de metal caliente de un nivel por debajo de 500 kg.

25 Además de tal reducción de la tasa de agente de reducción en el funcionamiento del horno y otras mejoras del coste de fabricación, en años recientes, la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), uno de los gases de efecto invernadero que causan principalmente el calentamiento global, han sido ampliamente buscadas. La industria del acero, una de las industrias principales relacionada con las emisiones de CO₂, tiene que responder a tales demandas sociales. La reducción adicional en las operaciones de alto horno, que utilizan grandes cantidades de materiales carbonosos para la fabricación de hierro y acero, está resultando urgente. La industria japonesa del acero ha establecido objetivos de acción voluntaria para abordar la reducción de emisiones de CO₂, pero está siendo presionada para desarrollar nuevas tecnologías con miras al futuro.

30 Sin embargo, ninguna de las PLT 1 a 4 tiene la reducción de las emisiones de CO₂ como sus objetivos principales. No tienen la función suficiente para reducir fundamentalmente la cantidad de generación de CO₂. De esta manera, siempre y cuando se basen en métodos operativos existentes, incluso cuando son considerados en términos de eficiencia de calor, la situación ahora es que no se puede encontrar más espacio para una reducción importante en el consumo de carbono.

35 En vista de tal situación, el trabajo en desarrollar una tecnología que apunta a una reducción importante en el consumo de carbono en operaciones de un alto horno ha estado avanzando en Europa. Es decir, en el denominado proyecto "ULCOS", se está desarrollando (NLPT 1) un proceso de alto horno basado en un alto horno de oxígeno que combina técnicas de separación y recuperación de CO₂, separando el CO₂ del gas de alto horno, recalentándolo, y volviéndolo a soplar dentro del horno desde una tobera prevista recientemente en la pared lateral del cuerpo del horno en la etapa intermedia del alto horno o desde la tobera habitual.

40 La figura 1 muestra el flujo del proceso ULCOS de alto horno anterior. Es un flujo de proceso considerado como el más alto para el efecto de reducción del consumo de carbono de un alto horno. Las características más diferentes del funcionamiento ordinario de alto horno son (1) el punto de no utilizar aire caliente para la ráfaga desde la tobera habitual sino soplar oxígeno y carbón pulverizado a temperatura ambiente, (2) soplar gas de alto horno en el alto horno después de separar el CO₂ de todo el gas de alto horno para crear "reciclaje cerrado de gas", y (3) calentar el gas reciclado del gas de alto horno a alta temperatura en un momento en el que es soplado desde la tobera habitual. Además, en el flujo del proceso de alto horno de la figura 1, el grado de reducción indirecta del mineral es un alto 89,7%. Se consigue una relación de reducción de carbono del 28% para los 289 kg/tMH de la cantidad de carbono (c) cargado por tonelada de

metal caliente (1 tMH) en el momento del funcionamiento normal. Además, el CO₂ es separado del gas de alto horno mediante el método de adsorción de oscilación de presión de vacío. El "vol" en la figura 1 muestra la cantidad de gas en el estado estándar.

5 Estas características plantean graves riesgos cuando se aplican a altos hornos comerciales. Es decir, lo anterior (1) requiere que se inyecte una gran cantidad de carbón pulverizado para mantener la temperatura de la zona de combustión enfrente de la tobera en un valor adecuado. De acuerdo con un informe del proyecto ULCOS, la tasa de carbón pulverizado (consumo de carbón pulverizado por tonelada de metal caliente) ha alcanzado 300 kg/tMH y, como resultado, la tasa de coque ha caído a 200 kg/tMH como mínimo. Con el nivel actual de la técnica de las operaciones de alto horno que solo se demuestran a una tasa de coque generalmente de 270 kg/tMH o más, no es posible crear fácilmente un estado operativo estable. Además, dado que el oxígeno es soplado a temperatura ambiente, no se introduce calor sensible por el gas soplado. Por lo tanto, incluso si ocurren problemas en el funcionamiento que hacen que el horno se enfríe, el interior del horno no puede ser calentado rápidamente y es difícil restablecer el funcionamiento. Además, el funcionamiento de "reciclaje cerrado de gas" de (2) tiene el riesgo de que los elementos traza contenidos en la fase de gas (por ejemplo, contenido de azufre, etc.) se reciclen y se concentren en el proceso de alto horno. Existe una duda sobre si el funcionamiento estable puede ser mantenido durante un período largo de tiempo.

De esta manera, el proceso de alto horno dirigido por el proyecto ULCOS sería difícil de aplicar a un alto horno comercial en el que se requiera que la producción de metal caliente sea continua de manera estable durante un largo período de tiempo incluso si la realización fuera posible sobre una base de operación de prueba de corto tiempo.

20 Por otro lado, existe el método para reducir el consumo de carbono asignando al hidrógeno la capacidad de reducción que es una de las funciones del carbono en el funcionamiento de alto horno. Es decir, esta es una operación que sopla gas natural o gas de horno de coque (a continuación, llamado "COG") u otro gas reductor que contiene hidrógeno en el alto horno. Hay un gran número de invenciones relacionadas con tal método de funcionamiento, pero se ha descrito en particular el método para modificar el gas mezclado de CO₂ y CO separado del gas de alto horno a metano (CH₄) y de nuevo soplar el gas modificado al alto horno para el propósito de reducir las emisiones de CO₂ de altos hornos (PLT 5).

25 Este método separa y recupera el CO₂ (y/o CO) del gas de alto horno, añade H₂ a este para convertirlo en CH₄, luego sopla nuevamente este en el alto horno, pero existen problemas tales como la nueva necesidad de un aparato de conversión en CH₄ y el hecho de que si solo sopla en CH₄, no se puede reducir suficientemente el consumo de carbono del alto horno. No se puede decir que se pueda satisfacer suficientemente la demanda social de reducción de emisiones de CO₂ explicada al inicio.

30 **Lista de citas**

Bibliografía de patentes

PLT 1. Publicación de Patente Japonesa N° H05-86444B2

PLT 2. Publicación de Patente Japonesa N° S52-32323B2

PLT 3. Publicación de Patente Japonesa N° H05-179323A

35 PLT 4. Publicación de Patente Japonesa N° S63-57704A

PLT 5. Publicación de Patente Japonesa N° 2011-225969A

Bibliografía que no pertenece a patentes

NLPT 1. "Final Evaluation of the Ulcoss TGR-BF Pilot Tests Performed at the LKAB Experimental Blast", Pettrsson Mikael, Silkstrom Peter, Eklund, Nicklas, Proceedings of 6th ICSTI (2012), p. 960.

40 **Compendio de la invención**

Problema Técnico

45 Es importante reducir en gran medida el consumo de carbono de un alto horno en el intervalo de la tecnología operativa existente. Además, la provisión de un método para el funcionamiento de un alto horno que puede reiniciarse rápidamente incluso si ocurre un problema que hace que el horno se enfríe y que permite la producción estable de metal caliente sin el riesgo de que los elementos traza sean reciclados y condensados en el proceso de alto horno se ha convertido en un objetivo. Un objeto de la presente invención es proporcionar un método para el funcionamiento de un alto horno capaz de reducir en gran medida las emisiones de CO₂ y de permitir la producción de metal caliente de forma estable durante un largo período en un alto horno comercial.

Solución al Problema

Los inventores etc., descubrieron que soplando gas que contiene CH₄ con un alto contenido de hidrógeno desde una tobera habitual, soplando un gas de alto horno desde el cual han sido retirados componentes de óxido y H₂O de una tobera prevista en una etapa intermedia del horno (a continuación, denominada como una "tobera de vientre"), y soplando gas que contiene CH₄ con un alto contenido de hidrógeno y gas de alto horno del que se han retirado los componentes de óxido y H₂O de la tobera habitual realizando un enriquecimiento de oxígeno del horno desde la tobera habitual del 10% al 40%, es posible reducir en gran medida las emisiones de CO₂ y operar el alto horno de forma estable durante mucho tiempo. Además, la "tobera habitual" es la tobera prevista en la etapa inferior del horno en el lado por debajo de la tobera de vientre para soplar carbón pulverizado u otro combustible auxiliar junto con aire caliente en el alto horno.

La presente invención, que es como se ha definido en las reivindicaciones, se realizó basándose en este descubrimiento para resolver el problema anterior. Mientras tanto, la presente descripción puede ser resumida por los siguientes artículos (1) a (8) que no sirven para definir el alcance de la presente invención:

(1) Un método para el funcionamiento de un alto horno en el que el mineral de hierro y el coque son cargados desde la parte superior de un horno y el carbón pulverizado es inyectado desde una tobera habitual, que comprende

soplar una ráfaga que contiene al menos uno de entre hidrógeno e hidrocarburo desde la tobera habitual junto con el carbón pulverizado y

soplar un gas compuesto de un gas de alto horno del alto horno del que se han retirado el dióxido de carbono y el vapor desde una tobera de vientre al alto horno.

(2) El método para el funcionamiento de un alto horno de acuerdo con (1) que comprende además soplar una ráfaga compuesta de gas de alto horno del alto horno del que se han retirado el dióxido de carbono y el vapor desde la tobera habitual al alto horno.

(3) El método para el funcionamiento de un alto horno de acuerdo con (1) o (2) en donde la ráfaga procedente de la tobera habitual es enriquecida con oxígeno mediante un enriquecimiento de oxígeno de no menos del 10% y no más de un Y% mostrados en la siguiente fórmula:

$$Y = 0,079 \times CH_4 + 32$$

(donde, CH₄ indica un % en vol. de metano en el gas soplado desde la tobera habitual)

(4) El método para el funcionamiento de un alto horno de acuerdo con cualquiera de (1) a (3) en donde una tasa de solado del gas que contiene al menos uno de entre hidrógeno e hidrocarburo es 30 Nm³/tMH o más.

(5) El método para el funcionamiento de un alto horno de acuerdo con cualquiera de (1) a (4) en donde el gas de alto horno soplado desde la tobera habitual es soplado desde la tobera de vientre y una tasa de solado de 400 Nm³/tMH o menos a una temperatura de 600 °C a 1000 °C.

(6) El método para el funcionamiento de un alto horno de acuerdo con cualquiera de (1) a (5) en donde la tasa de solado de gas de alto horno soplado desde la tobera de vientre es 100 Nm³/tMH o más.

(7) El método para el funcionamiento de un alto horno de acuerdo con cualquiera de (1) a (6) en donde el gas que contiene al menos uno de entre hidrógeno e hidrocarburo soplado desde la tobera habitual contiene metano.

(8) El método para el funcionamiento de un alto horno de acuerdo con (7) en donde el gas que contiene metano incluye al menos uno de entre gas de horno de coque y gas natural.

Efectos ventajosos de la invención

Se ha proporcionado un método para el funcionamiento de un alto horno para reducir en gran medida las emisiones de CO₂ y para producir metal caliente de forma estable durante un largo período en un alto horno comercial.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista que muestra un flujo de un proceso ULCOS de alto horno.

La figura 2 es una vista que muestra la relación entre el consumo de gas soplado desde una tobera habitual (COG y gas natural) (Nm³/tMH) y el consumo de carbono (kg/tMH).

La figura 3 es una vista que muestra un proceso (Requisito A + Requisito B) de forma resumida.

La figura 4 es una vista que muestra el cambio en el consumo de carbono (kg/tMH) asociado con soplar un gas reciclado desde una tobera de vientre en el momento de hacer el consumo de COG soplado desde una tobera habitual 95 (Nm³/tMH) en el proceso (Requisito A + Requisito B).

La figura 5 es una vista que muestra el consumo de carbono (kg/tMH) en el momento de soplar adicionalmente en cualquiera de carbón pulverizado, COG, o gas natural desde una tobera habitual a un alto horno que opera de una manera estándar con ningún Requisito B y el consumo de carbono (kg/tMH) en el momento de soplar adicionalmente cualquiera de carbón pulverizado, COG, o gas natural desde una tobera en un proceso (Requisito A + Requisito B).

5 La figura 6 es una vista que muestra un resumen de un proceso (Requisito A + Requisito B + Requisito C).

Las figuras 7 son vistas que muestran la relación entre los índices operativos de un alto horno en el caso de hacer el consumo de COG soplado desde una tobera habitual a un valor de 95 (Nm³/tMH) en el proceso (Requisito A + Requisito B + Requisito C). La figura 7A muestra la relación entre el enriquecimiento de oxígeno y el consumo de carbono (kg/tMH). La figura 7B muestra la relación entre el enriquecimiento de oxígeno y la tasa de coque (kg/tMH) y la relación entre el enriquecimiento de oxígeno (%) y la tasa de soplado de gas reciclado desde una tobera habitual (Nm³/tMH). La figura 7C muestra la relación entre el enriquecimiento de oxígeno y la proporción de gas reciclado de gas de alto horno (%).

10 Las figuras 8 son vistas que muestran la relación entre los índices operativos de un alto horno en el caso de hacer el consumo de gas natural soplado desde una tobera habitual a un valor de 95 (Nm³/tMH) en el proceso (Requisito A + Requisito B + Requisito C). La figura 8A muestra la relación entre el enriquecimiento de oxígeno y el consumo de carbono (kg/tMH). La figura 8B muestra la relación entre el enriquecimiento de oxígeno y la tasa de coque (kg/tMH) y la relación entre el enriquecimiento de oxígeno (%) y la tasa de soplado de gas reciclado desde una tobera habitual (Nm³/tMH). La figura 8C muestra la relación entre el enriquecimiento de oxígeno y la proporción de gas reciclado de gas de alto horno (%).

15 La figura 9 es un gráfico que muestra la relación entre la cantidad de COG y el consumo de carbono en el caso de que cambie la tasa de soplado de COG soplado desde una tobera habitual, soplando además gas de alto horno desde la tobera habitual sin calentar el gas de alto horno en el proceso del Requisito C, y aumentando el enriquecimiento de oxígeno de la ráfaga desde la tobera habitual en el proceso (Requisito A + Requisito B).

20 La figura 10 es un gráfico que muestra la relación entre la tasa de gas natural y el consumo de carbono en el caso de que cambie la cantidad de gas natural soplado desde una tobera habitual, soplando además gas natural desde la tobera habitual sin calentar el gas de alto horno en el proceso del Requisito C, y aumentando el enriquecimiento de oxígeno de la ráfaga desde la tobera habitual en el proceso (Requisito A + Requisito B).

Descripción de las realizaciones

30 Con el fin de reducir las emisiones de CO₂ en el proceso de producción de metal caliente, es necesario reducir la carga de carbono requerida para la producción de metal caliente en un alto horno. Como se ha explicado anteriormente, la función principal del carbono en un alto horno es el suministro de calor para reducir y fundir el mineral de hierro (a continuación "mineral de hierro" es utilizado como un término general para los pellets de mineral sinterizado, obtenidos aglomerando mineral de hierro, u otros materiales de aportación de hierro). En la presente invención, el consumo de carbono es reducido sustituyendo el agente de reducción de carbono con hidrógeno para parte de la reducción.

35 Sin embargo, en la operación de alto horno que reduce y funde el mineral de hierro en un campo de alta temperatura en el horno que es formado de manera autónoma cargando solo materiales en bruto desde la parte superior y una operación de ráfaga desde una tobera habitual, con gas simplemente soplado que tiene un alto contenido de hidrógeno desde la tobera habitual, no es fácil mantener estable la producción de metal caliente. Además, es difícil realizar un recorte fundamental en el consumo de carbono.

40 Por lo tanto, los inventores se centraron en añadir las siguientes tecnologías de elemento a la tecnología de funcionamiento de alto horno existente para superar los problemas anteriores. Es decir, se centraron en los siguientes requisitos (A) a (C):

(A) Soplar gas que contiene al menos uno de entre hidrógeno e hidrocarburo desde una tobera habitual.

45 En la tasa de reducción de gas de un mineral, el gas H₂ es superior incluso al gas CO. El gas que contiene al menos uno de entre CH₄ u otros hidrocarburos que contienen una gran cantidad de hidrógeno y se sopla tanto hidrógeno como sea posible en el alto horno.

(B) Calentar el gas de alto horno del que se han retirado el CO₂ y otros componentes de óxido y el vapor (H₂O) y soplarlo desde una tobera de vientre.

50 El gas de alto horno en donde una proporción de gas que tiene una capacidad de reducción es alta es producido retirando los componentes de óxido y vapor del gas de alto horno, y el gas de alto horno producido es reutilizado. Calentando el gas de alto horno producido a una temperatura adecuada y de nuevo soplándolo desde una tobera de vientre hacia dentro del alto horno (a continuación denominado como "reciclaje de gas de alto horno"), es posible mejorar la tasa de utilización del gas reductor del horno.

Además,

(C) Soplar el gas de alto horno desde la tobera habitual sin calentar el gas de alto horno y aumentar el enriquecimiento de oxígeno del vientre desde la tobera habitual.

5 Cuando se sopla gas de alto horno desde la tobera habitual, es importante mantener la temperatura teórica del gas generado debido a la combustión en la zona de combustión enfrente de la tobera (a continuación, referido simplemente como la "temperatura de la llama") en un intervalo adecuado. Por esta razón, es preferible no calentar el gas de alto horno y realizar el enriquecimiento de oxígeno de la ráfaga desde la tobera habitual del 10% al 40%. Como resultado, es posible mantener la temperatura de la llama dentro de un intervalo adecuado mientras se aumenta el componente de gas reductor en el gas de horno. Además, ya no es necesario aumentar la tasa de inyección de carbón pulverizado para ajustar la temperatura de llama y es posible evitar una caída extrema en la tasa de coque.

10 Obsérvese que, el valor X del enriquecimiento de oxígeno (%) indica la concentración de oxígeno enriquecido desde la ráfaga normal. Por ejemplo, la cantidad de concentración de oxígeno enriquecido desde la ráfaga habitual (aire (concentración de oxígeno de aproximadamente el 21%)) está expresada por la siguiente fórmula:

$$X (\%) = (0,21 \times V_b/60 + V_o/60) / (V_b+V_o/60) \times 100 - 21$$

donde V_o : caudal de oxígeno (Nm^3/h)

15 V_b : Caudal total desde la tobera habitual que incluye el caudal de gas de alto horno (Nm^3/min)

Aquí, la productividad de un alto horno depende directamente de la tasa de oxígeno soplado en el alto horno (denominada como la "tasa de oxígeno soplado"). Al hacer que el enriquecimiento de oxígeno aumente bajo la condición de que la productividad se mantenga constante, para hacer la tasa de oxígeno soplado constante, la práctica general es ajustar la tasa de soplado hacia abajo.

20 Además, el valor de límite superior del enriquecimiento de oxígeno está limitado por la presencia o ausencia de erosión de la lanza y también cambia por la composición del gas soplado. Es decir, la composición del gas soplado hace que el límite superior (Y%) del enriquecimiento de oxígeno que conduce a la erosión de la lanza debido a un aumento de la temperatura difiera. El hecho de que este es generalmente proporcional al contenido de CH_4 con respecto a la composición de gas del medio de refrigeración en el gas y que esta relación es expresada por la siguiente fórmula fue confirmada por los inventores, etc.

$$Y = 0,079 \times CH_4 + 32$$

donde, Y: límite superior de enriquecimiento de oxígeno (%)

CH_4 en la fórmula: % en vol. de metano contenido en el gas soplado en

30 Además, si se realiza el enriquecimiento de oxígeno excesivo, no solo existe la posibilidad de que se produzca de forma fiable la erosión de la lanza, sino también que el foco de combustión en la pista de rodadura se mueva excesivamente hacia el lado de la pared, es provocada una conducción de calor insuficiente al hombre muerto o un aumento de la pérdida de calor en el lado de la pared, y el efecto del material cargado también se vuelve inestable. Aplicando los requisitos anteriores, es posible conseguir el objeto de la presente invención.

Ejemplos

35 A continuación, se explicarán ejemplos de la presente invención, pero la presente invención no está limitada a estos.

Se simuló el funcionamiento de alto horno basándose en el análisis numérico del alto horno para estudiar los efectos de la presente invención. Para tal simulación, por ejemplo, se utilizó el denominado "blast furnace mathematical model" ("modelo matemático de alto horno") mostrado en K. Takatani, T. Inada, e Y. Ujisawa, ISIJ International, 39, (1999), p. 15 etc.

40 Ejemplo 1

En el Ejemplo 1, los inventores investigaron en detalle el Requisito A anterior "soplar gas que contiene al menos uno de entre hidrógeno y un hidrocarburo desde una tobera habitual".

45 La Tabla 1 muestra los parámetros estándar en el momento del funcionamiento del alto horno (volumen del horno $5300 m^3$) en donde el carbón pulverizado es inyectado desde la tobera habitual. Se ha considerado una operación de soplado de gas que contiene CH_4 con un contenido alto de hidrógeno. Si se aumenta la temperatura de CH_4 a $800^\circ C$ o más, se descompone bajo el calor por el que se genera gas hidrógeno y el gas hidrógeno funciona como un agente de reducción, por lo que se obtiene el efecto de reducir el consumo de carbono.

50 El gas que contiene CH_4 contiene no solo hidrógeno, sino también una gran cantidad de hidrógeno en el estado de CH_4 u otros hidrocarburos, por lo que es posible dotarlo de la función del material de reducción. En este momento, la concentración de CH_4 es preferiblemente del 25% o más. La razón es que si la concentración de CH_4 es menor del 25%, incluso si se aumenta el enriquecimiento de oxígeno, la combustión en la zona de combustión de la parte frontal de la

tobera provoca una caída en la función de ajustar la temperatura de la llama y el efecto de los Requisitos (B) y (C) al aumentar la tasa de utilización del gas reductor del horno resulta insuficiente.

5 Como gas que contiene CH₄, es posible emplear COG con un alto contenido de hidrógeno, gas natural con un alto contenido de CH₄, o gas ciudad o gas de esquisto y gas sintético que contenga cualquier proporción del mismo y otros gases existentes que contienen CH₄. La composición de COG cambia dependiendo del tratamiento del gas residual y de las condiciones operativas del horno de coque y difiere con cada planta de acero. El intervalo de composición es generalmente CH₄:25 a 38% y H₂: 47 a 59%.

Tabla 1

Producción*	11350 t/d	Volumen de la ráfaga	7650 Nm ³ /min
Temperatura del metal caliente*	1520 °C	Temperatura de la ráfaga*	1200 °C
Tasa de coque	340 kg/tMH	Enriquecimiento de oxígeno	3,40%
Tasa de carbón pulverizado*	146 kg/tMH	Humedad de la ráfaga	25 g/Nm ³
Tasa de agente de reducción	486 kg/tMH	Temperatura de la llama*	2155 °C
Consumo de carbono	419 kg/tMH		
(* los elementos marcados son tratados como valores fijos en la simulación posterior del funcionamiento)			

10 A este respecto, para reducir y fundir el mineral de hierro, el interior del alto horno es mantenido a una temperatura alta bajo una atmósfera de reducción. Si soplar COG o gas natural u otro gas que contiene CH₄ a este, el contenido de hidrocarburo es pirolizado bajo calor y se genera polvo de hollín. Existe el peligro de que el hollín llene los vacíos entre las partículas de relleno del coque en grumos y otras fuentes de carbono y grupos de minerales sinterizados y por lo tanto reduzca la permeabilidad al gas dentro del horno. Por lo tanto, es preferible soplar los gases mencionados
15 anteriormente en la única región donde se forma una atmósfera oxidante en el alto horno, es decir, la región de combustión enfrente de la tobera habitual. Es decir, es deseable soplar COG o gas natural u otro gas que contiene CH₄ desde la tobera habitual junto con gas caliente o carbón pulverizado.

20 La composición de COG o de gas natural difiere algo dependiendo del material inicial de carbón o del área de producción, pero en la simulación del funcionamiento, se utilizaron los contenidos mostrados en la Tabla 2-1 y en la Tabla 2-2 como valores típicos. Además, se predijeron los parámetros operativos mediante cálculo utilizando el método de hacer la tasa de carbón pulverizado constante y ajustar la tasa de coque y la tasa de soplado para que proporcionen productividad y temperaturas de metal caliente mostradas en la Tabla 1. Además, esto está basado en la premisa de que la temperatura de la llama, que es considerada importante en cuanto a experiencia en el diseño de operaciones, es mantenida constante ajustando el enriquecimiento de oxígeno.

25

Tabla 2-1

	CH ₄ (% en vol.)	H ₂ (% en vol.)	CO (% en vol.)	N ₂ (% en vol.)
Composición de gas de horno de coque (COG)	37	48	12	3
Composición de gas natural	100	0	0	0

Tabla 2-2

	Carbono (% en peso)	Hidrógeno (% en peso)
Composición de carbón pulverizado	82	4

30 La relación entre el consumo de gas (COG y gas natural) soplado desde la tobera habitual (Nm³/tMH) y el consumo de carbono fue obtenida mediante la simulación del funcionamiento de alto horno bajo las condiciones de la Tabla 2-1 y de la Tabla 2-2. Esta relación se ha mostrado en la figura 2. Aquí, el consumo de carbono (kg/tMH) significa el consumo específico de la cantidad de carbono, es decir, la cantidad de carbono cargado o soplado a través de coque, carbón pulverizado, COG, o gas natural por tonelada de metal caliente. Es una cantidad conectada directamente con las
35 emisiones de CO₂ que acompañan a la producción de metal caliente. De acuerdo con esta figura, se comprenderá que el consumo de carbono disminuye de acuerdo con el aumento en el consumo de COG o el consumo de gas natural. Esto

es porque el hidrógeno contenido en una gran cantidad en COG o gas natural contribuye a la reducción del mineral de hierro y la cantidad requerida de carbono es mantenida baja.

En el Ejemplo 1, además, los inventores investigaron en detalle el funcionamiento de un alto horno que comprende el Requisito A anterior y además el Requisito B anterior “calentar el gas de alto horno del que se han retirado los componentes de óxido y el vapor y soplarlo desde la tobera de vientre”.

La figura 3 muestra el proceso (Requisito A + Requisito B) de forma resumida. Los componentes principales del gas de alto horno agotado desde la parte superior del alto horno son CO, CO₂, H₂, N₂, y H₂O (vapor), pero el vapor es retirado por la refrigeración en el proceso existente del tratamiento para limpiar el gas de escape. Por otro lado, el CO₂, permanece en el gas de alto horno, pero si se retira éste, la capacidad de reducción del gas de alto horno en el mineral es restaurada en gran medida. Ya se ha desarrollado tecnología para separar y recuperar el CO₂ del gas, por lo que es suficiente introducir la tecnología existente para separar y retirar el CO₂, en el sistema de proceso de alto horno para de este modo realizar el proceso (Requisito A + Requisito B).

También es posible soplar gas a alta temperatura con un alto contenido de hidrógeno desde la tobera de vientre además del gas de alto horno del que se ha retirado los componentes de óxido y el H₂O. COG está fácilmente disponible en las plantas de acero, por lo que es preferible utilizar COG. Sin embargo, si se sopla CH₄ desde la tobera habitual, el hollín se precipita y se inhibe la reducción del mineral de hierro, por lo que es preferible soplar COG que ha sido modificado en el contenido de CH₄, etc. La composición del COG modificado es, por ejemplo, H₂: 68%, CH₄: 5%, C₂H₄: 1%, CO: 17%, N₂: 2%, y H₂O: 7%. Con el fin de asegurar la capacidad de reducción del gas de alto horno sopladados desde la tobera habitual, la temperatura del gas es hecha preferiblemente a 750°C o más. Además, con el fin de aumentar la proporción del componente que tiene la capacidad de reducción, es preferible soplar COG modificado después de eliminar la humedad.

Con el fin de investigar el efecto ventajoso del proceso (Requisito A + Requisito B), los inventores ejecutaron una simulación que predice el efecto de soplar gas de alto horno después de la retirada de CO₂ y H₂O desde la tobera de vientre bajo condiciones de inyectar carbón pulverizado desde la tobera habitual y soplar COG o gas natural. Aquí, es ventajoso establecer la posición en la que el gas de alto horno después de la retirada de CO₂ y H₂O es soplado en el alto horno a la ubicación donde la reducción de gas progresa activamente. Esta posición se ajustó a una posición correspondiente a la temperatura del horno de 1100 °C calculada en el momento de funcionamiento normal mostrado en la Tabla 1. Los altos hornos existentes no tienen aberturas por las que es soplado el gas hacia esa ubicación, por lo que se ha previsto nuevamente una tobera de vientre.

La simulación anterior se realizó reciclando gas de alto horno bajo las condiciones de la Tabla 3. En la Tabla 3, “gas reciclado” significa gas reciclado en el reciclado de gas de alto horno que es utilizado para la simulación. Los valores predichos de los parámetros en el momento del funcionamiento se hicieron los parámetros estándar de la misma manera que en el caso de la Tabla 1.

Tabla 3

Tasa de reciclaje de gas de alto horno desde la tobera de vientre	0 a 30%
Tasa de soplado de gas reciclado desde la tobera de vientre	100 a 600 Nm ³ /tMH
Temperatura de soplado de gas reciclado desde la tobera de vientre	400 a 1000 °C
Tasa de soplado de COG desde la tobera habitual	95 Nm ³ /tMH

La figura 4 es un gráfico obtenido mediante la simulación de un funcionamiento para realizar el reciclaje del gas de alto horno bajo las condiciones de la Tabla 3 y muestra el cambio en el consumo de carbono (kg/tMH) que acompaña un aumento en la tasa de soplado de gas reciclado desde la tobera de vientre cuando fija el consumo de COG soplado desde la tobera habitual a 95 (kg/tMH). Como se comprenderá a partir de la figura 4, aumentando la tasa de soplado de gas reciclado desde la tobera de vientre, es posible reducir el consumo de carbono (kg/tMH). Es decir, el contenido de carbono recargado en el horno a través del gas reciclado no es el carbono cargado desde el exterior del sistema de alto horno, por lo que el reciclado del gas de alto horno basado en la presente invención puede aumentar la eficiencia de utilización del gas reductor y reducir el consumo de carbono (kg/tMH).

Sin embargo, el efecto de reducción del consumo de carbono del alto horno por el gas reciclado tiende a saturarse si la tasa de soplado del gas reciclado desde la tobera de vientre aumenta excesivamente. Se entiende que esto es debido al hecho de que incluso si aumenta la tasa de reducción de gas en el horno más de lo necesario, la velocidad de reacción de reducción del mineral de hierro no puede ser mantenida. Por otro lado, incluso en términos del flujo de material en el horno, el gas reductor en exceso en el horno aumenta el riesgo de fluidización de la capa empaquetada en el horno o el aumento en la caída de presión que dado como resultado el fenómeno de canalización. Por lo tanto, para obtener de forma fiable el efecto de reducir el consumo de carbono de un alto horno y para asegurar el funcionamiento estable bajo las condiciones para la aplicación de la presente invención, es preferible hacer el límite inferior de la tasa de soplado de gas reciclado de 100 Nm³/tMH y hacer el límite superior de la tasa de gas reciclado de 400 Nm³/tMH.

Además, la figura 4 muestra los resultados de la investigación de la temperatura de soplado del gas reciclado soplado desde la tobera de vientre hacia el interior del horno. De acuerdo con la figura 4, cuanto más alta se hace la temperatura del gas reciclado soplado desde la tobera de vientre, mayor es el efecto de reducción del consumo de carbono (kg/tMH). Esto es debido a que no solo el efecto de reutilización del gas reductor, sino también el efecto del aumento de la cantidad de calor introducida en el alto horno a través del calor sensible del gas reciclado. Sin embargo, lo que debería observarse es el punto de que si la temperatura del gas reciclado cae por debajo de aproximadamente 600 °C, casi no aparece efecto de reducción del consumo de carbono (kg/tMH). Este fenómeno es debido al hecho de que si se rebaja excesivamente la temperatura de soplado, el efecto perjudicial tanto de la distribución de temperatura en el alto horno que está siendo rebajada notablemente como de la progresión de la reacción de reducción que termina siendo embotada se vuelve notable.

Por lo tanto, en el reciclado de gas de alto horno, la temperatura cuando se sopla gas reciclado desde la tobera de vientre hacia el interior del alto horno es preferiblemente al menos 600 °C. Además, la temperatura límite superior es mantenida preferiblemente por debajo de 1000 °C o menos donde no existe peligro de que el mineral de hierro se ablande-funda y se obstruye la progresión de reducción de gas.

Para investigar más a fondo el efecto ventajoso del proceso (Requisito A + Requisito B), los inventores investigaron un cambio en el consumo de carbono (kg/tMH) en el caso de soplar respectivamente solo carbón pulverizado, COG y carbón pulverizado, y gas natural y carbón pulverizado desde la tobera habitual en el proceso (Requisito A + Requisito B). Primero, hicieron funcionar un alto horno operado utilizando un método estándar bajo los parámetros mostrados en la Tabla 1 para soplar respectivamente COG, gas natural, y carbón pulverizado desde la tobera habitual bajo las condiciones de la Tabla 4 de modo que la tasa de la materia reductora cargada desde la tobera habitual (valor total de carbono C e hidrógeno H₂) resulta sustancialmente constante. Los inventores compararon la cantidad de reducción del consumo de carbono (kg/tMH) al recircular el gas de alto horno desde la tobera de vientre bajo condiciones de 400 Nm³/tMH, 800 °C. En este momento, los inventores investigaron el enriquecimiento de oxígeno de la ráfaga para soplar el COG, el gas natural y el carbón pulverizado desde la tobera habitual hacia el interior del alto horno de modo que la temperatura de la llama resulte constante.

Tabla 4

	Tasa de soplado (*)	Tasa de soplado de materia reductora	Contenido de H ₂ en la materia reductora
Carbón pulverizado	84 kg/tMH	7,4 kmol/tMH	23 mol%
COG	95 Nm ³ /tMH	7,3 kmol/tMH	71 mol%
Gas natural	50 Nm ³ /tMH	6,7 kmol/tMH	67 mol%
(*) : Tasa de soplado añadida a la tasa de carbón pulverizado de 146 kg/tMH de la Tabla 1			

Los resultados del funcionamiento anterior se han mostrado en la figura 5. La figura 5 muestra el consumo (kg/tMH) de carbono cuando se sopla adicionalmente cualquiera de entre carbón pulverizado, COG, o gas natural desde la tobera habitual hacia un alto horno que es operado de una manera estándar sin el Requisito B y el consumo (kg/tMH) de carbono cuando se sopla adicionalmente cualquiera de entre carbón pulverizado, COG, o gas natural desde la tobera habitual hacia un alto horno que es operado de una manera estándar en el proceso (Requisito A + Requisito B). En la figura 5, combinando la operación de soplar COG o gas natural de un alto contenido de hidrógeno desde la tobera habitual con el reciclado de gas de alto horno, aparece claramente el efecto de reducción del consumo de carbono (kg/tMH). Este efecto es debido a la característica que con respecto a la reducción de mineral de hierro, el gas H₂ tiene una velocidad de reacción más rápida que el gas CO. El Requisito B que utiliza esta característica se ha mostrado para dar lugar a un efecto especial bajo el Requisito A.

De este modo, el reciclado del gas de alto horno en la presente invención exhibe efectos especiales bajo el (Requisito A + Requisito B). Es decir, en una operación de soplar COG o gas natural con un alto contenido de hidrógeno desde la tobera habitual, el reciclado de gas de alto horno desde la tobera de vientre es particularmente efectivo para reducir el consumo de carbono (kg/tMH).

Ejemplo 2

A continuación, los inventores estudiaron el funcionamiento de un alto horno que añade además a lo anterior (Requisito A + Requisito B) el Requisito C de "soplar gas de alto horno desde la tobera habitual sin calentar y aumentar el enriquecimiento de oxígeno de la ráfaga".

La figura 6 muestra el proceso (Requisito A + Requisito B + Requisito C) de forma resumida. El Requisito C de la presente invención promueve además la reducción del consumo de carbono (kg/tMH) bajo el (Requisito A + Requisito B). Combinando el Requisito C, es posible mantener las condiciones de combustión de la tobera-ubicación de combustión frontal del alto horno en un intervalo adecuado y alcanzar una tasa de coque a un nivel capaz de funcionamiento real mediante la tecnología operativa existente.

Como se ha explicado anteriormente, el valor límite superior del enriquecimiento de oxígeno está limitado por la presencia de erosión de la lanza y cambia debido a la composición del gas de la ráfaga. En el caso del presente ejemplo de solo soplar COG que contiene CH₄: el 37% desde la tobera, si el enriquecimiento de oxígeno es del 35%, la temperatura del exterior de la lanza aumenta excesivamente e invita a la erosión de la lanza. Por otro lado, en el caso de lo explicado más adelante en el Ejemplo 3 de soplar gas natural que contiene CH₄: aproximadamente el 100% desde la tobera, si el enriquecimiento de oxígeno es del 40%, se produce la erosión de la lanza. De este modo, el límite superior (Y%) del enriquecimiento de oxígeno que conduce a la erosión de la lanza debido a un aumento de temperatura difiere dependiendo de la composición del gas soplado hacia. Esto es proporcional al contenido de CH₄ en la composición del gas del medio de refrigeración en el gas. La relación está representada por la siguiente fórmula:

$$Y = 0,079 \times CH_4 + 32$$

donde, Y: límite superior de enriquecimiento de oxígeno (%)

CH₄: % en vol. de CH₄ contenido en gas soplado hacia

Los inventores ejecutaron operaciones para soplar gas que contiene COG desde la tobera habitual bajo las condiciones mostradas en la Tabla 5 e investigaron el cambio en el consumo de carbono (kg/tMH) relacionado con el enriquecimiento de oxígeno (10% a 35%) bajo la condición de que la temperatura de la llama sea fija. Además, se previó una tobera de vientre en la etapa media del alto horno, la tasa de soplado de gas reciclado desde la tobera de vientre se hizo a 200 Nm³/tMH y 400 Nm³/tMH, y la temperatura de soplado del gas reciclado desde la tobera de vientre se hizo a 800 °C. Además, la tasa de inyección de carbón pulverizado desde la tobera habitual en el ejemplo se estableció de la misma manera que la válvula mostrada en la Tabla 1.

Tabla 5

Tasa de soplado de COG (tobera habitual)	COG 95 Nm ³ /tMH
Tasa de soplado de gas reciclado (tobera de vientre)	200 Nm ³ /tMH; 400 Nm ³ /tMH
Tasa de soplado de gas reciclado (tobera habitual)	Tasa requerida para mantener la temperatura de la llama a 2155 °C
Temperatura de soplado de gas reciclado (tobera de vientre)	800 °C
Temperatura de soplado de gas reciclado (tobera habitual)	Temperatura ordinaria (25 °C)
Enriquecimiento de oxígeno (tobera habitual)	15 a 40%

Las figuras 7 son vistas que muestran la relación entre los índices de funcionamiento de un alto horno en el caso de hacer un consumo de COG soplado desde la tobera habitual 95 (Nm³/tMH) en el proceso (Requisito A + Requisito B + Requisito C) bajo las condiciones de la Tabla 5. La figura 7A muestra la relación entre el enriquecimiento de oxígeno (%) y el consumo de carbono (kg/tMH). La proporción del gas N₂ (nitrógeno) en el gas de horno cae junto con un aumento en el enriquecimiento de oxígeno, mientras que la concentración de los componentes reductores, es decir, H₂ y CO aumenta, por lo que se amplifica el efecto de la operación de reciclaje de gas de alto horno del Requisito B de la presente invención. La figura 7B muestra la relación entre el enriquecimiento de oxígeno (%) y la tasa de coque (kg/tMH) y la relación entre el enriquecimiento de oxígeno (%) y la tasa de soplado del gas reciclado desde la tobera habitual (Nm³/tMH). Soplando parte del gas reciclado a una temperatura ordinaria desde la tobera habitual en una cantidad adecuada, es posible mantener la temperatura de la llama sin aumentar la tasa de carbón pulverizado y es posible alcanzar una tasa de coque de intervalo actual capaz del funcionamiento estable de 270 kg/tMH o más mientras que se reduce el consumo de carbono (kg/tMH) del alto horno a aproximadamente 380 kg/tMH. Esto corresponde a una reducción de aproximadamente el 9% con respecto al tiempo del funcionamiento normal de la Tabla 1.

La figura 7C muestra la relación entre el enriquecimiento de oxígeno (%) y la proporción de gas reciclado de gas de alto horno (%). La proporción de gas reciclado (%) del gas de alto horno significa la proporción de volumen (%) de la tasa de soplado de gas reducido desde la tobera habitual y la tobera de vientre con respecto a la tasa total de gas de alto horno. Junto con el aumento del enriquecimiento de oxígeno, la tasa de soplado de gas reductor desde la tobera habitual aumenta y la temperatura de la llama es mantenida constante (2155 °C). Aquí, la presente invención no está limitada en el nivel de la tasa de coque del funcionamiento de alto horno.

Normalmente, en el funcionamiento de alto horno, para asegurar la generación de calor en la parte inferior del horno, la práctica general es ajustar las condiciones de soplado de modo que la temperatura de combustión enfrente de parte frontal de la tobera se vuelve una constante de aproximadamente 2155 °C. Si se opera bajo condiciones donde la temperatura de la llama cae, una caída en el calor del horno y en la temperatura del metal caliente es provocada durante un largo plazo y problemas de extracción, enfriamiento, y otros problemas operacionales graves pueden ser inducidos. En la operación para soplar COG o gas natural desde la tobera, el calor sensible al gas introducido cae debido a la reacción endotérmica que acompaña la descomposición del componente principal CH₄ y soplando el aire de refrigeración hacia el alto horno, y la temperatura de la llama cae.

Para compensar esto, el enriquecimiento de oxígeno de la ráfaga es efectivo. Además, los componentes principales del gas de alto horno son CO y H₂, por lo que el gas reciclado del gas de alto horno no se quema enfrente de la tobera y es soplado por el aire de refrigeración, por lo que el calor sensible del gas introducido cae y la temperatura de la llama cae. En este caso también, es posible aumentar el enriquecimiento de oxígeno de acuerdo con la tasa de soplado de gas reciclado para compensar el calor. Si aumentar el enriquecimiento de oxígeno, con el fin de hacer la productividad constante, la tasa de soplado es disminuida y la tasa de carga de oxígeno en el horno es ajustada para volverse constante. Como resultado, junto con el aumento del enriquecimiento de oxígeno, el N₂ en el gas de horno es disminuido y la concentración de CO, H₂, u otro gas reductor aumenta relativamente. Esto conduce a la amplificación del efecto de la operación de reciclaje de gas de alto horno del Requisito B.

Ejemplo 3

La figura 8 muestra la relación entre los índices de funcionamiento de un alto horno en el caso de hacer un consumo de gas natural soplado desde la tobera habitual de 95 (Nm³/tMH) en el proceso (Requisito A + Requisito B + Requisito C). Aquí, las condiciones operativas en el proceso (Requisito A + Requisito B + Requisito C) de la figura 8 se han mostrado en la Tabla 6. Excepto para el cambio de gas soplado de COG a gas natural, hacer la tasa de soplado de gas reciclado desde la tobera de vientre de 400 Nm³/tMH y hacer la temperatura de soplado de 800 °C, las condiciones son las mismas que las condiciones estudiadas en la tabla 5.

Tabla 6

Tasa de soplado de gas natural (tobera habitual)	95 Nm ³ /tMH
Tasa de soplado de gas reciclado (tobera de vientre)	400 Nm ³ /tMH
Tasa de soplado de gas reciclado (tobera habitual)	Tasa requerida para mantener la temperatura de la llama a 2155 °C
Temperatura de soplado de gas reciclado (tobera de vientre)	800 °C
Temperatura de soplado de gas reciclado (tobera habitual)	Temperatura ordinaria (25 °C)
Enriquecimiento de oxígeno (tobera habitual)	15 a 40%

La figura 8A muestra la relación entre el enriquecimiento de oxígeno y el consumo de carbono (kg/tMH). La figura 8B muestra la relación entre el enriquecimiento de oxígeno y la tasa de coque (kg/tMH) y la relación entre el enriquecimiento de oxígeno (%) y la tasa de soplado de gas reciclado desde la tobera habitual (Nm³/tMH). La figura 8C muestra la relación entre el enriquecimiento de oxígeno y la proporción de gas reciclado de gas de alto horno (%). En este caso, el alto horno ha sido operado a un nivel de tasa de coque de 250 kg/tMH o menos, pero haciendo el enriquecimiento de oxígeno hasta el 40%, es posible reducir el consumo de carbono del alto horno por debajo de aproximadamente 350 kg/tMH. Esto corresponde a una reducción de aproximadamente el 15% con respecto al tiempo de funcionamiento normal de la Tabla 1.

Ejemplo 4

En el Ejemplo 4, los inventores investigaron el efecto en el caso de cambiar la cantidad de COG o gas natural soplado desde la tobera habitual en el proceso (Requisito A + Requisito B) y soplar adicionalmente gas de alto horno desde la tobera habitual sin calentar y aumentar el enriquecimiento de oxígeno de la ráfaga desde la tobera habitual en el proceso de Requisito C.

La figura 9 muestra un ejemplo de cambiar la tasa de COG soplado desde la tobera habitual hacia un alto horno ajustada a la tasa de coque en el proceso (Requisito A + Requisito B) de modo que la temperatura de metal caliente no cae por debajo de 1520 °C por los parámetros con asterisco de la Tabla 1 para realizar un estado de funcionamiento estable del alto horno. Como se ha mostrado en la figura 9, cuando se hace la tasa de soplado del reciclaje de gas de alto horno desde la tobera de vientre a 400 Nm³/tMH en el Requisito B, no se observaron grandes mejoras en el consumo de carbono con una tasa de COG soplado desde la tobera habitual de menos de 30 Nm³/tMH. Esto es debido al hecho de que la tasa de COG soplado desde la tobera habitual es demasiado pequeña y el efecto de amplificación de reciclar H₂ podría no ser exhibido suficientemente. Por otro lado, si se hace la tasa de soplado de COG desde la tobera habitual a 30 Nm³/tMH o más, se mejoró en gran medida el consumo de carbono junto con un aumento en la tasa de soplado de COG.

Cuando se hace el enriquecimiento de oxígeno de la ráfaga desde la tobera habitual aumenta hasta el 35% y se hace simultáneamente la tasa de gas de alto horno soplado desde la tobera habitual a 225 Nm³/tMH en el Requisito C, si la tasa de COG soplado desde la tobera habitual es menor que 30 Nm³/tMH, de la misma manera que el Requisito B, no se pudo observar una gran mejora en el consumo de carbono. Esto es debido a que la tasa de soplado es demasiado pequeña y el efecto de amplificación de reciclaje de H₂ no es exhibido suficientemente. Por otro lado, cuando una tasa de COG soplado desde la tobera habitual es de 30 Nm³/tMH o más, podría mejorarse en gran medida el consumo de carbono durante el proceso (Requisito A + Requisito B) de acuerdo con el aumento en la tasa de soplado de COG.

Observar que, en cada requisito, cuando más se hace aumentar la tasa de soplado, más se rebaja el consumo de carbono.

5 La figura 10 muestra un ejemplo que cambia la tasa de soplado de gas natural desde la tobera habitual hacia un alto horno ajustado a la tasa de coque en el proceso (Requisito A + Requisito B) de modo que la temperatura de metal caliente no cae por debajo de 1520 °C bajo los parámetros con asterisco en la Tabla 1 para realizar un estado operativo estable. Como con el caso de soplar COG desde la tobera habitual, cuando se hace la tasa de soplado de reciclaje de gas de alto horno desde la tobera de vientre a 400 Nm³/tMH en el Requisito B, con una tasa de gas natural soplado desde la tobera habitual de menos de 30 Nm³/tMH, no se ve una gran mejora en el consumo de carbono. Sin embargo, cuando aumenta el enriquecimiento de oxígeno de la ráfaga desde la tobera habitual hasta el 40% y hace simultáneamente la tasa de gas de alto horno soplado desde la tobera habitual a 175 Nm³/tMH en el Requisito C, si se hace la tasa de gas natural soplado desde la tobera habitual a 30 Nm³/tMH o más, se mejoró en gran medida el consumo de carbono junto con un aumento en la tasa de soplado. Observar que, la tasa de utilización de gas natural no está limitada, pero se invita a un aumento en el coste de fabricación, por lo que es posible ajustar la tasa de utilización de gas natural en el intervalo que proporciona un efecto predeterminado.

15 Como se ha explicado anteriormente, en el futuro, si se mejora la tecnología operativa y el nivel de tasa de coque mínimo que permite el funcionamiento estable cae aún más, será posible aplicar más positivamente la presente invención (a un aumento en el enriquecimiento de oxígeno) y reducir en gran medida el consumo de carbono del alto horno. Observar que, se explicaron las realizaciones preferidas de la presente invención, pero la presente invención no está limitada a estos ejemplos. Es evidente para una persona que tiene experiencia ordinaria en el campo técnico al que pertenece la presente invención que podrían hacerse distintos cambios o alteraciones dentro de la idea técnica descrita en las reivindicaciones. Esto naturalmente también se entenderá como que cae en el alcance técnico de la presente invención.

Aplicabilidad industrial

25 De acuerdo con la presente invención, es posible proporcionar un método para el funcionamiento de un alto horno capaz de reducir las emisiones de CO₂ y producir metal caliente en un alto horno comercial de forma estable durante un largo período.

REIVINDICACIONES

1. Un método para el funcionamiento de un alto horno en el que se carga mineral de hierro y coque desde una parte superior del horno y se inyecta carbón pulverizado desde una tobera habitual, que comprende
- 5 soplar en una ráfaga que contiene al menos uno de entre hidrógeno e hidrocarburo desde dicha tobera habitual junto con dicho carbón pulverizado, en donde dicha ráfaga es enriquecida con oxígeno mediante un enriquecimiento de oxígeno de no menos del 10% y no más de un Y% mostrado en la siguiente fórmula:

$$Y = 0,079 \times CH_4 + 32$$

donde CH₄ indica un % en vol. de metano en el gas soplado desde la tobera habitual

- 10 soplar un gas comprimido de un gas de alto horno del alto horno del que son retirados el dióxido de carbono y el vapor desde una tobera habitual al alto horno, y
- soplar gas de alto horno desde la tobera habitual sin calentar el gas de alto horno.

2. El método para el funcionamiento de un alto horno según la reivindicación 1 en donde una tasa de soplado de dicho gas que contiene al menos uno de entre hidrógeno e hidrocarburo es 30 Nm³/tMH o más.

- 15 3. El método para el funcionamiento de un alto horno según la reivindicación 1 o 2 en donde dicho gas de alto horno soplado desde la tobera de vientre es soplado desde dicha tobera de vientre mediante una tasa de soplado de 400 Nm³/tMH o menos a una temperatura de 600 °C a 1000 °C.

4. El método para el funcionamiento de un alto horno según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 en donde la tasa de soplado del gas de alto horno soplado desde dicha tobera de vientre es 100 Nm³/tMH o más.

- 20 5. El método para el funcionamiento de un alto horno según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 en donde dicho gas que contiene al menos uno de entre hidrógeno e hidrocarburo soplado desde dicha tobera habitual contiene metano.

6. El método para el funcionamiento de un alto horno según la reivindicación 5 en donde dicho gas que contiene metano incluye al menos un gas de horno de coque y gas natural.

FIG. 1

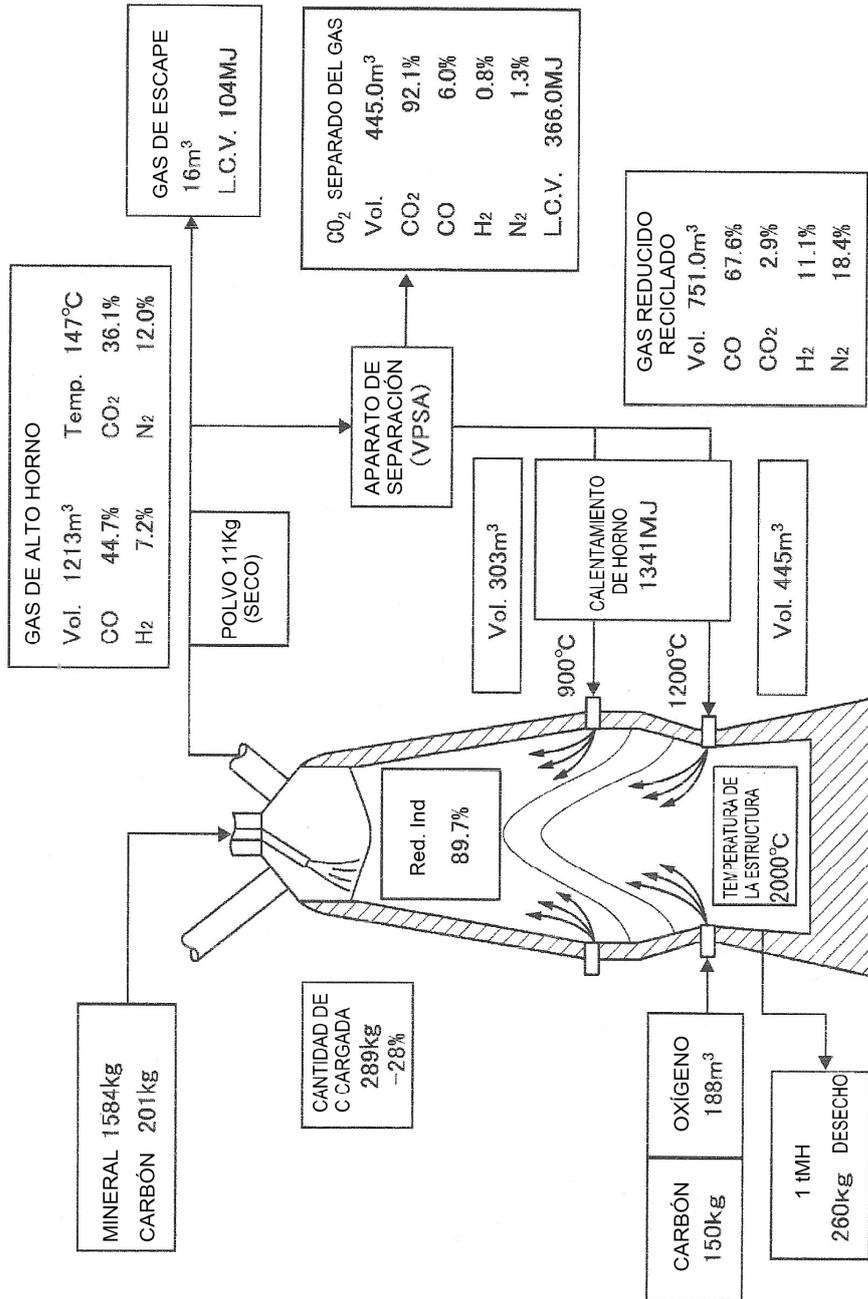


FIG. 2

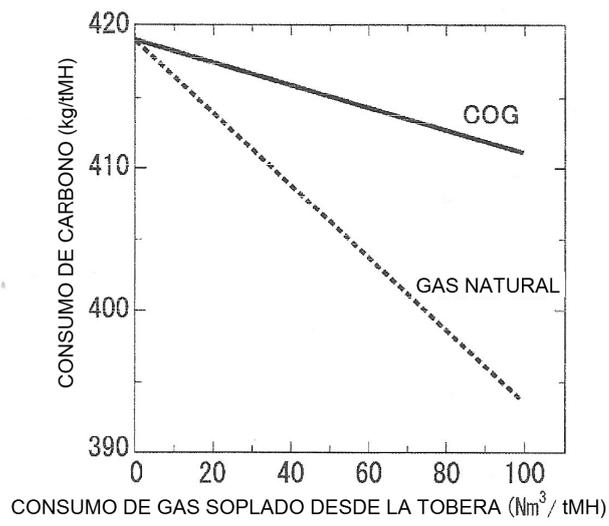


FIG. 3

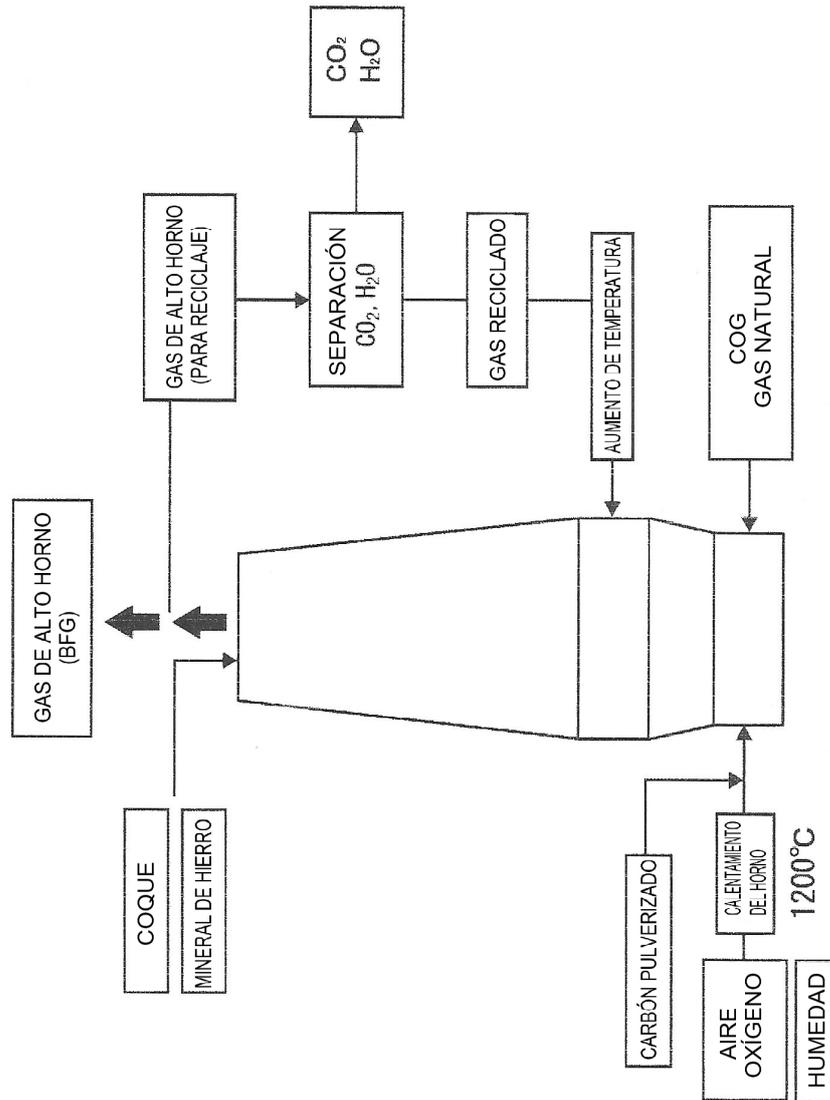


FIG. 4

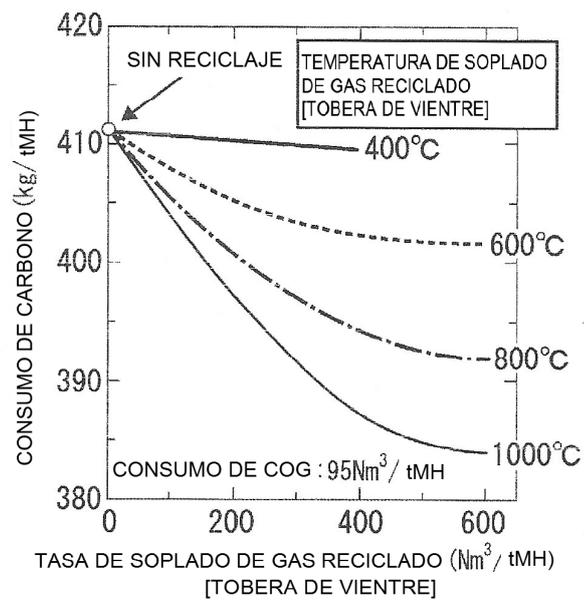


FIG. 5

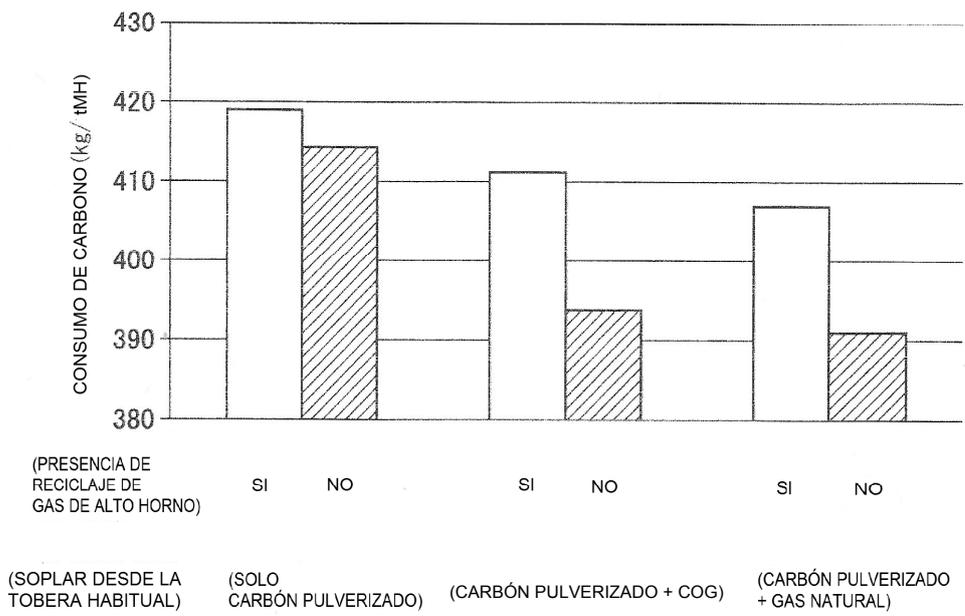


FIG. 6

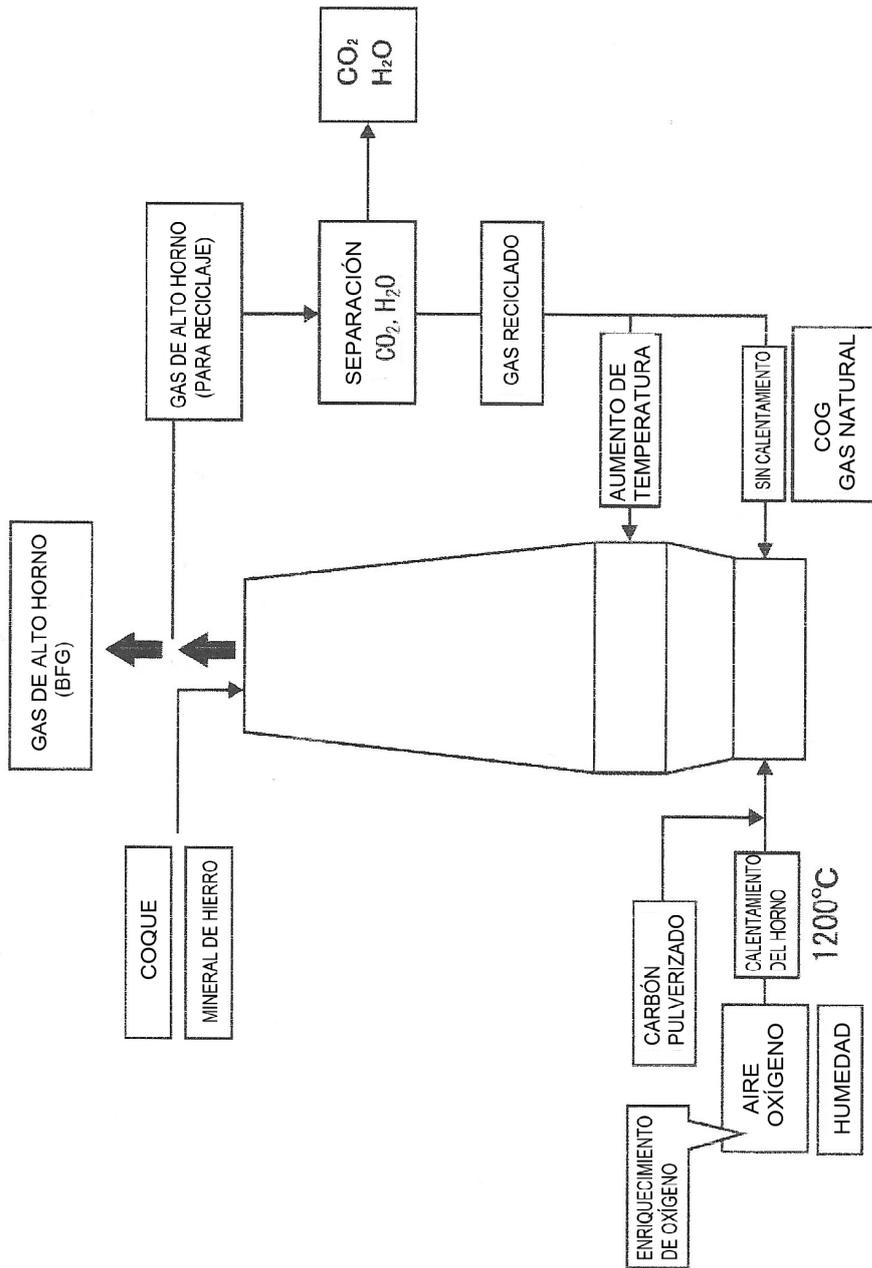
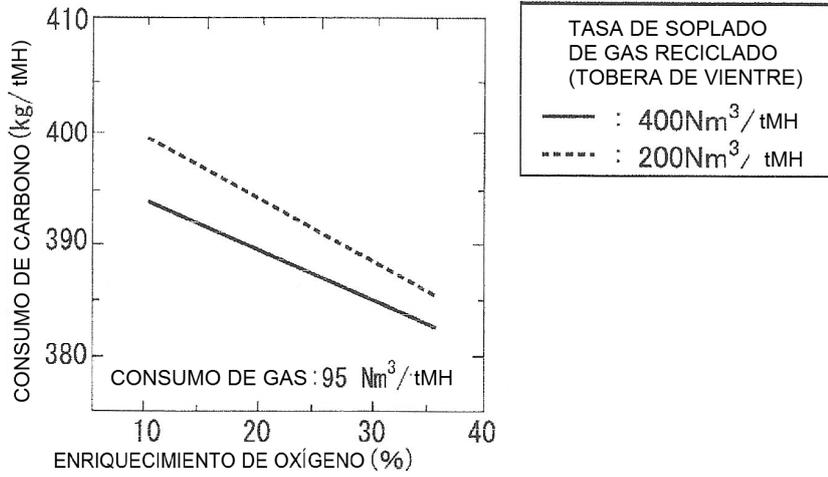
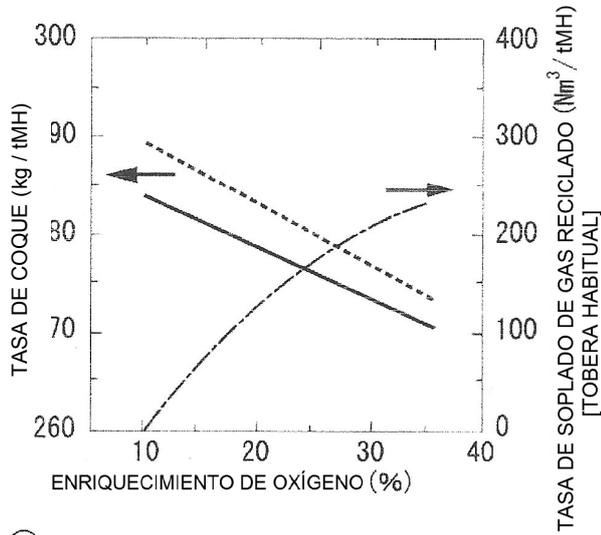


FIG. 7

(A)



(B)



(C)

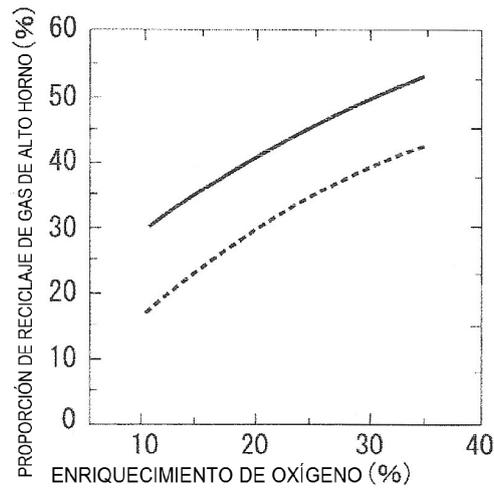


FIG. 8

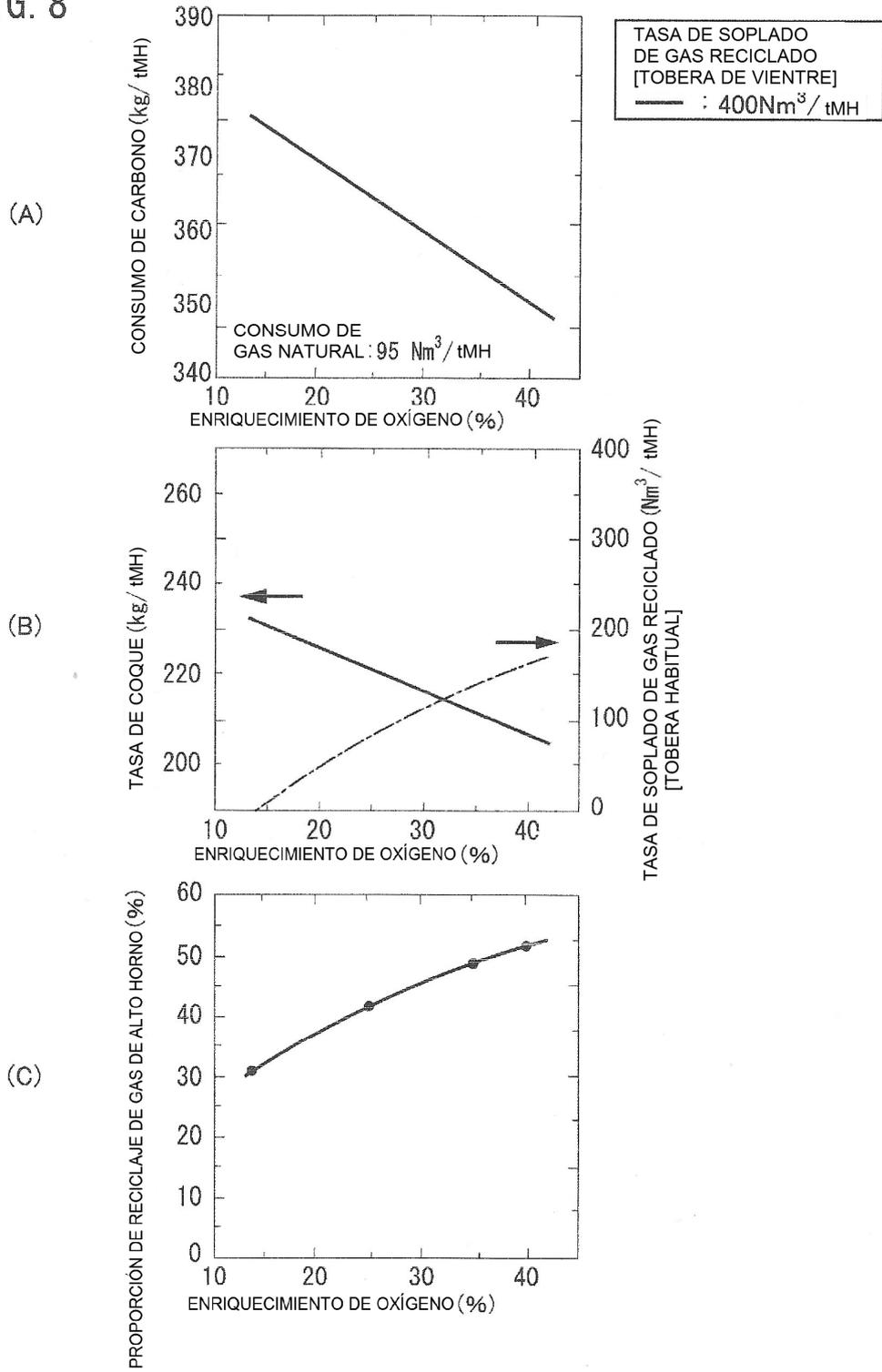


FIG. 9

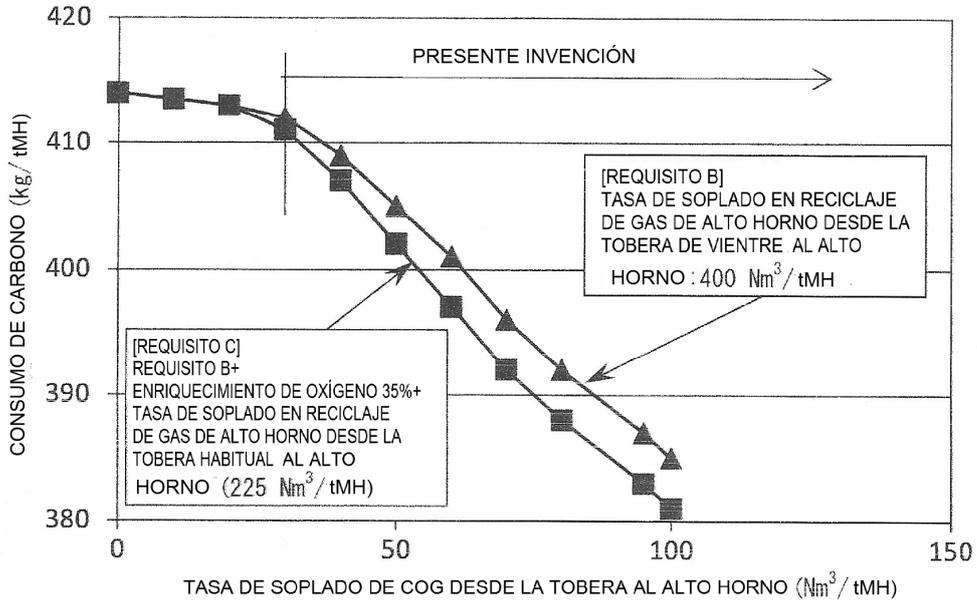


FIG. 10

