



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 291 519**

51 Int. Cl.:

C22B 21/00 (2006.01)

F27D 21/00 (2006.01)

F27D 19/00 (2006.01)

G01N 21/39 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **02785598 .0**

86 Fecha de presentación : **07.11.2002**

87 Número de publicación de la solicitud: **1456425**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **15.09.2004**

54 Título: **Procedimiento de fusión de aluminio utilizando el análisis de humos de la salida del horno.**

30 Prioridad: **29.11.2001 FR 01 15445**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.03.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.03.2008

73 Titular/es: **L'AIR LIQUIDE, Société Anonyme pour
l'Etude et l'Exploitation des Procédés Georges
Claude
75, quai d'Orsay
75007 Paris, FR**

72 Inventor/es: **Ducrocq, Jean**

74 Agente: **Justo Vázquez, Jorge Miguel de**

ES 2 291 519 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).

ES 2 291 519 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de fusión de aluminio utilizando el análisis de humos de la salida del horno.

5 Campo técnico y técnica anterior

La invención se refiere al campo de la fusión del aluminio y de los hornos destinados a la fusión del aluminio.

Se aplica especialmente a los procedimientos de reciclaje de los desechos del aluminio.

10

En el ámbito de la fusión del aluminio secundario, la imposibilidad de poder medir y controlar numerosos fenómenos y parámetros durante la fusión constituye un obstáculo para la comprensión del proceso de fusión, así como para la obtención de mejores prestaciones y la elaboración de reglas que permitan la eliminación de pérdidas durante la fusión.

15

La fusión se produce en hornos rotativos o de reverberación. El procedimiento puede ser continuo, pero la mayoría de los hornos trabajan de forma discontinua. Los materiales se cargan por inmensas puertas que se abren en los hornos de reverberación, y por la puerta principal en los hornos rotativos. Para la introducción de desechos en gran volumen, el horno debe cargarse dos o tres veces por ciclo de colada.

20

El aluminio o sus aleaciones deben fundirse a una temperatura superior a la de fusión. Pero, para que la colada del aluminio líquido sea conveniente durante el tratamiento posterior, por ejemplo en las máquinas de colada, es necesario que el metal fundido alcance un nivel de temperatura de 760°C. Se intenta también evitar cualquier sobrecalentamiento del baño líquido, especialmente más allá de los 780°C, temperatura más allá de la cual la velocidad de oxidación aumenta considerablemente, de manera casi exponencial.

25

En el transcurso de un ciclo de colada, se puede distinguir primero el período inicial, cuando los materiales están sólidos, que permite la absorción de una gran cantidad de calor transformada en calor latente de fusión de aluminio a 660°C.

30

A continuación, cuando el metal está líquido, su conductibilidad térmica se reduce a la mitad de su valor en estado sólido. Se puede producir un sobrecalentamiento, pero de manera no homogénea, debido a problemas de reparto de calor.

35

Los grandes hornos de reverberación son relativamente más sensibles a esta falta de homogeneidad. Se introduce calor a partir de la superficie del líquido, pero la relación de densidades es tal que se produce una estratificación estable: el líquido caliente se encuentra en la parte superior del baño y el líquido frío en la parte inferior.

40

Los hornos de reverberación incluyen dispositivos adicionales, tales como bombas o inyectores de gas, destinados básicamente a asegurar la homogeneidad del baño líquido, permitiendo un proceso más eficaz de fusión.

45

Los hornos rotativos sólo emplean su propio principio de mezcla. Se transmite calor mediante calentamiento del refractario que se desplaza bajo el líquido: el calor es conducido al mismo tiempo por la superficie superior expuesta a la llama, y por el fondo que está en contacto con el refractario rotativo. La estratificación queda así desestabilizada.

50

Durante la fusión se producen pérdidas de metal, no sólo en la propia capa oxidada, también porque el esqueleto oxidado atrapa líquido. Una mezcla de óxidos de aluminio y aluminio atrapado flota entonces sobre el líquido en fusión. El aluminio atrapado puede representar del 20 al 80% de la masa de los que se llama escoria o espuma.

55

La obtención de un buen rendimiento de aluminio a partir de desechos reciclados requiere una limitación de las pérdidas en el fuego.

Además, se aplican dos soluciones para la reducción de pérdidas de metal en la escoria.

60

Los hornos rotativos, así como algunos hornos de reverberación, se cargan primero con fundentes, a base de sales (mezcla esencialmente de NaCl y KCl), destinadas a reducir el remojo de los esqueletos de óxido mediante el aluminio atrapado.

65

La otra solución es la retirada regular de la espuma de la superficie. No sólo la espuma que flota sobre el metal líquido representa una pérdida de metal, sino que constituye una capa de material aislante que recubre el líquido. Al estar formada de alúmina, su temperatura de fusión es elevada (más de 1.300°C): no se funde de nuevo sino que sigue aumentando. La introducción de calor a través de dicha capa aislante requiere una potencia cada vez mayor, es decir el sobrecalentamiento de la capa superior. Un antiguo dicho de los fundidores indica que “la escoria genera escoria”. Dicha escoria puede retirarse mediante rastrillado de la superficie: esto constituye el procedimiento de retirada de espuma.

La operación de retirada de espuma es manual o, en cualquier caso, muy poco mecanizada.

Se realiza esencialmente en los hornos de reverberación, mediante la apertura de las puertas, lo que provoca la entrada de gran cantidad de aire en el horno. Esto presenta dos inconvenientes: el enfriamiento (el regreso a la temperatura anterior requiere habitualmente dos veces más de tiempo que el período de apertura de la puerta) y la entrada de oxígeno del aire, que oxida el aluminio con facilidad.

Además, no existe medio alguno que permita determinar cuándo deben abrirse las puertas para retirar espuma.

La evaluación del rendimiento en metal se realiza pesando los desechos sólidos a la entrada del horno, deduciendo el peso estimado de pinturas y revestimientos, y pesando el metal obtenido a la salida del horno. Durante el calentamiento, dichas pinturas y revestimientos son objeto de una pirolisis de la que se comprueba que ha terminado cuando la carga alcanza 580°C.

Sin embargo, dichas técnicas de producción no proporcionan indicación alguna sobre el momento en que se forma y se acumula la escoria durante el ciclo de colada. Por consiguiente, la ejecución de una acción cualquiera, como la limitación del tiempo pasado a temperatura elevada para la reducción de la producción de dicha escoria o espuma, se basa en la experiencia del operario o sobre reglas empíricas conseguidas tras un largo período y de forma fastidiosa. Cualquier conclusión relativa a dicha acción sólo puede sacarse de manera estadística, dado que el material de los desechos varía, por su propia naturaleza, en origen y calidad.

En los hornos de reverberación, los productores de aluminio más avanzados utilizan ciertos procedimientos de regulación, como la comprobación del nivel de temperatura del refractario mediante un termopar, que reduce la potencia de quemadores o que comanda la parada de uno o varios quemadores cuando se alcanza un nivel crítico de temperatura. Sin embargo, dichas operaciones están esencialmente destinadas a asegurar la seguridad del refractario.

No constituyen una indicación directa de la formación de puntos calientes, allí donde se produce la oxidación.

Otros productores comprueban la temperatura del metal líquido mediante inmersión de un termopar en el metal. Cuando se detecta una temperatura superior a 760°C, se reduce la potencia de los quemadores o se carga nuevo material en el horno.

Sin embargo, sólo se trata de una indicación local, pudiendo aparecer puntos calientes en otras áreas.

Por lo tanto, no es suficiente para dichas operaciones una vigilancia del nivel de temperatura del refractario o del metal líquido.

Además, todas estas soluciones pueden emplearse en los hornos de reverberación, fijos o basculantes, pero no convienen para los hornos rotativos.

En la bibliografía se presentan otras soluciones, cuyo objeto es principalmente evitar la oxidación mediante la ausencia de contacto de la superficie del metal con cualquier oxidante.

De este modo, el documento JP 58-227706 propone utilizar la medición de los contenidos de CO y H₂ contenidos en los humos para asegurarse de que, en un horno de fusión de metales no férricos, los quemadores instalados funcionan en modo subestequiométrico en una horquilla de valores de la relación del caudal de oxidante con un caudal de combustible de entre el 95 y el 100%.

El documento EP 962 540 expone una técnica de combustión con objeto de la fusión de un metal en un horno. Según esta técnica, se envía en el horno un gas que contiene oxígeno, de manera que queda separado del baño de metal mediante la llama del quemador.

El quemador funciona entonces de manera subestequiométrica. El aporte de oxígeno procede de la zona situada por encima de la llama, formando esta última una pantalla entre el oxígeno del gas y la superficie del metal fundido.

El documento US 5 563 903 describe una técnica según la cual un gas neutro o no oxidante forma una pantalla entre la superficie del metal (aluminio) fundido y una zona de combustión situada en la parte superior del horno.

El documento US 3 759 702 se refiere a una técnica en la que la fusión tiene lugar inicialmente al aire libre, mediante un quemador móvil por encima de la superficie de los materiales a fundir. La llama del quemador es reductora debido a un ligero exceso estequiométrico del combustible con relación al oxígeno, en la alimentación del quemador.

El documento JP-A-1992/293740 describe la fusión de aluminio en un horno con la ayuda de un quemador oxidante-combustible.

El documento JP-A-1992/314835 describe un aparato para controlar la temperatura de un baño de aluminio fundido y regular la temperatura del horno a un valor predeterminado.

El documento EP-A-793071 describe un sistema de combustión optimizado que cubre una combustión completa de los gases en un horno denominado "cubilot".

ES 2 291 519 T3

El documento GB-A-2286458 describe un aparato de medición de oxígeno en una atmósfera por medio de un diodo láser.

Dichas técnicas son bien difíciles de aplicar, bien inadecuadas para la fusión en un horno.

Por lo tanto, se plantea el problema de encontrar una técnica de obtención de un buen rendimiento de metal en un horno de fusión.

Además, se plantea el problema de la detección precisa del momento en que se produce la oxidación del metal en el transcurso de un ciclo de colada.

El conocimiento del momento en que se produce la oxidación facilitaría el ajuste de las operaciones de combustión para la disminución o control de dicha oxidación, sin que sea necesario utilizar estadísticas de producción que reflejen tanto la calidad de los desechos como la de las propias técnicas de fusión.

Además, el conocimiento del momento en que se produce la oxidación y de la importancia de la cantidad de óxido formado facilitaría la toma de decisión relativa a la realización de la operación de retirada de espuma.

Descripción de la invención

En primer lugar, la invención se refiere a un procedimiento de detección de la formación de óxidos de aluminio en la superficie de un baño de aluminio en un horno de fusión de aluminio, caracterizado porque se detectan las variaciones de concentración de CO y de la temperatura en los humos que salen del horno.

La invención se refiere asimismo a un procedimiento de fusión de aluminio en el cual:

- se introduce aluminio sólido en un horno,
- se realiza la fusión del aluminio, para formar un baño de aluminio,
- se detectan las variaciones de concentración de monóxido de carbono (CO) y de la temperatura en los humos que salen del horno,
- se deduce la formación de óxidos de aluminio en la superficie del baño de aluminio,
- se regula el procedimiento de fusión en función de la formación de óxidos de aluminio.

Durante una oxidación del aluminio en el horno, las variaciones de CO y de temperatura van en el mismo sentido o tienen el mismo signo, lo que permite detectar dicha oxidación con facilidad.

Por lo tanto, según la invención se pueden detectar valores positivos del producto, o de la relación, de las derivadas con relación al tiempo de CO y de la temperatura con objeto de identificar la aparición de la oxidación del aluminio, sin necesidad de abrir el horno para realizar una observación visual y sin la intervención de un operador.

Por lo tanto, se puede utilizar el análisis de los gases desprendidos durante la fusión para detectar la formación de los óxidos, con la ayuda de las señales de concentración de CO y de temperatura.

En su caso, se pueden observar asimismo las variaciones de CO₂ y/o de O₂ y/o de H₂O.

En particular, se pueden evaluar las entradas de aire en el horno según la evolución de la concentración de H₂O.

El análisis de los humos del horno puede emplearse como base para la regulación de un procedimiento de fusión mediante:

- adaptación de la densidad de potencia de combustión,
- o ajuste de la relación del caudal oxidante con el caudal de combustible que alimenta los quemadores,
- o agitación del baño por medio de bombas o inyección de líquido,
- o indicación del hecho que el nivel de potencia de combustión por encima del baño agitado puede incrementarse o no.

Dicho análisis de humos puede emplearse asimismo para optimizar la frecuencia de retirada de espuma.

Se puede aplicar además una medición de temperatura o un muestreo condicional de temperatura, con objeto de marcar la diferencia entre las variaciones de señales debidas a la oxidación y aquellas debidas a la pirolisis de las pinturas y revestimientos formados en los trozos o los desechos de aluminio.

ES 2 291 519 T3

La invención se refiere asimismo a un dispositivo de detección de la formación de óxidos de aluminio en la superficie de un baño de aluminio en un horno de fusión de aluminio, caracterizado porque incluye medios de detección de la variación de concentración de CO y de temperatura en los humos que salen del horno.

5 Según una variante de realización según de la invención, se detecta la formación de óxidos de aluminio en la superficie de un baño de aluminio en un horno de fusión de aluminio, con la ayuda de medios de detección de la variación de concentración de hidrógeno de la atmósfera por encima de la superficie del baño y medios de medición de la temperatura en los humos que salen del horno.

10 Además, dicho dispositivo puede incluir medios para detectar variaciones de concentración de CO₂ y/o H₂O y/o O₂.

Se pueden prever medios para realizar una comparación de los sentidos de variación de la concentración de CO con la temperatura y/o para realizar el producto o la relación de las variaciones temporales de la concentración de CO y de la temperatura.

Asimismo, se pueden prever medios para realizar una comparación de los valores de los contenidos medidos de CO y/o de H₂ con los valores respectivos de CO y/o H₂ que hubiera producido el quemador en la ausencia de interacción con la carga. Dichos valores pueden establecerse mediante calibrado del quemador.

20 La invención se refiere asimismo a un horno de fusión de aluminio, del tipo de reverberación o del tipo rotativo, que incluya dispositivos y/o medios como los expuestos anteriormente.

Breve descripción de las figuras

25 - las figuras 1, 4 y 5 representan distintas variantes de un horno de fusión de aluminio según la invención,
- las figuras 2, 3 y 6 representan mediciones de concentración de gases realizadas a la salida de ambos hornos.

30 Descripción detallada de modos de realización de la invención

Según la invención, se procede a la detección, en los humos a la salida del horno, de las variaciones de concentración de monóxido de carbono (CO), y a la medición de las variaciones de temperatura de los humos.

35 La figura 1 representa esquemáticamente un horno 2 en el que se obtiene un baño 4 de aluminio mediante fusión de desechos de aluminio. Un quemador 24, alimentado por un fluido oxidante (por ejemplo oxígeno) y un fluido combustible (por ejemplo un gas natural), permite producir una llama 11 para alcanzar la temperatura deseada en el horno.

40 Asimismo, se pueden emplear varios quemadores.

Las referencias 15 y 17 designan además, respectivamente, medios de alimentación de oxidante y de combustible.

45 Unos medios 10 de medición de las variaciones de la cantidad o de la concentración de CO están dispuestos a la salida del horno, más concretamente en una chimenea 13 de evacuación de los humos 6.

Además, unos medios 12 permiten medir las variaciones de temperatura aproximadamente en el mismo lugar.

50 Se pueden disponer además unos medios 14, 16, 18 de medición de la concentración de vapor de agua (H₂O) y/o de dióxido de carbono (CO₂) y/o de oxígeno (O₂) a la salida del horno, en el mismo conducto de chimenea.

Según un ejemplo de realización, los medios de medición 10, 14, 16, 18 pueden incluir uno o varios diodos láser, mientras que los medios 12 pueden incluir un termopar independiente.

55 La figura 2 representa diversas curvas I - V que representan respectivamente, en el transcurso de un procedimiento de fusión en un horno de solera seca:

- Curva I: la evolución del contenido de monóxido de carbono (CO),
- 60 - Curva II: la evolución de la temperatura,
- Curva III: la evolución del contenido de dióxido de carbono (CO₂),
- Curva IV: la evolución del contenido de oxígeno (O₂),
- 65 - Curva V: la evolución del contenido de vapor de agua (H₂O).

La evolución de las curvas I y II muestra una correlación entre las variaciones de CO y las de temperatura.

ES 2 291 519 T3

Las figuras 3A y 3B representan respectivamente, en el transcurso de un procedimiento de fusión en un horno rotativo:

- Curva I': la evolución del contenido de CO,
- Curva II': la evolución de la temperatura,
- Curva III': la evolución del contenido de CO₂,
- Curva IV': la evolución del contenido de O₂.

La figura 3A corresponde al caso de un horno a alta temperatura, y la figura 3B al caso de un horno a baja temperatura.

Las conclusiones que permiten interpretar dichas mediciones son las siguientes. Remítase asimismo a la tabla I siguiente.

La composición de los humos de combustión, constituidos esencialmente por dióxido de carbono CO₂ y vapor de agua H₂O, se modifica mediante el proceso de oxidación. La oxidación se produce no sólo por la acción del oxígeno puro o del oxígeno contenido en el aire, sino también debido a la presencia de CO₂ y de vapor de agua H₂O.

Dicho de otro modo, el oxígeno (O₂), el dióxido de carbono (CO₂) y el vapor de agua (H₂O) pueden interactuar con la carga de aluminio formando alúmina.

En realidad, la masa de espuma producida tras deducción del aluminio atrapado no puede explicarse mediante la mera oxidación directa. La cantidad de oxígeno en exceso del quemador incrementada del aire introducido en el horno no es suficiente a tal efecto.

TABLA I

	Evolución de H ₂ O	Modo de combustión rico en O ₂	Modo de combustión pobre en O ₂	Condiciones de muestreo
Caso de una combustión simple	-Depende únicamente de la entrada de aire	-No se observa CO	-dCO/dt/dT/dt es negativo -se conoce (CO/CO ₂) para una falta determinada de O ₂	
Caso de una interacción humos-carga	-Inferior al valor antes mencionado de referencia para mismos ajustes de los caudalímetros	1º sub caso: - No se observa CO ₂ - CO ₂ es estable -Aumento de <u>temperatura</u> 2º subcaso: - Se observa CO	- dCO/dt/dT/dt es positivo - (CO/CO ₂) es más grande que en la imagen para condiciones de caudales fijados.	T > 400°C (aumentada de 100 a 400°C (valor propio del horno))

ES 2 291 519 T3

En la tabla I, los modos de combustión rica en oxígeno (O₂) y pobre en oxígeno corresponden a una señal de referencia de quemador establecida con relación a un horno vacío o con relación a aluminio frío. Se puede utilizar como referencia una evaluación a partir de los ajustes de los cadalómetros.

5 La combustión simple se refiere a un sistema de combustión sin interacción con la carga (bien el horno de aluminio está vacío, bien el aluminio está frío) pero con cierta entrada de aire en el horno. En cualquier caso, puede tratarse de combustión mixta de aire y oxígeno. La concentración de vapor de agua (H₂O) es una medida de la entrada de aire.

10 Se puede suponer, para mostrarlo, que los desechos cargados no contienen agua. Las explosiones debidas al agua y al aluminio son un problema en toda la industria del aluminio, por lo que se libera a la carga de todo el agua, incluso de la humedad.

La concentración de vapor de agua (H₂O) se diluye mediante la entrada de aire, y se puede escribir:

15 caudal de entrada de aire = caudal teórico de humos [(H₂O) teórico - (H₂O) medido) / (H₂O) medido]

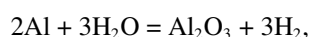
incluso en el caso de una combustión mixta con aire y oxígeno, la concentración de H₂O es una medida de entrada de aire si se compara con el contenido de H₂O determinado teóricamente a partir del conocimiento del caudal de combustible.

Dado que la cantidad de oxígeno disponible se determina mediante adición del:

25 - oxígeno introducido mediante la entrada de aire,

- oxígeno medido por los cadalómetros (oxígeno puro y aire añadido en el modo de combustión mixto o enriquecido), la concentración de vapor de agua permite por lo tanto determinar la cantidad de oxígeno disponible para la combustión.

30 Cuando se produce la interacción con la carga, la concentración de vapor de agua disminuye según la relación:



35 que se acompaña de una emanación de hidrógeno. Cabe tener en cuenta este fenómeno cuando se evalúan las composiciones gaseosas en humos denominados secos, tras la eliminación del vapor de agua habitualmente mediante condensación. La interacción entre el aluminio y el vapor de agua aumenta el caudal de humos secos.

40 Las señales de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y temperatura (T) en los sistemas de combustión simples pueden explicarse de la siguiente manera.

En los sistemas pobres en oxígeno, se forma el monóxido de carbono CO y disminuye el contenido de dióxido de carbono CO₂. Esto se impone mediante la limitación de masa aplicada a los átomos de carbono.

45 La relación CO/CO₂ es independiente del proceso de combustión con aire y oxígeno. Sólo depende de la falta de oxígeno.

50 La energía liberada en los sistemas pobres en oxígeno es reducida. Se sabe que el rendimiento máximo de combustión se produce para una producción máxima de CO₂. La señal indica que la relación de variaciones en el tiempo de CO y T (o la relación de las derivadas con relación al tiempo (dCO/dt)/(dT/dt)) es negativa (la concentración de CO aumenta y dicho aumento provoca una mala combustión, por lo que T disminuye).

55 Cuando la interacción con la carga se produce, en aparentes condiciones de riqueza de oxígeno, se observa una producción de CO o se puede observar un aumento de la temperatura con CO₂ constante.

Más concretamente, cuando emana CO debido a la reacción



60 éste se quema añadiendo calor al sistema (por lo tanto T aumenta), según la relación:



65 Las condiciones de combustión de CO pueden no ser eficaces a causa de una mezcla limitada de los reactivos (defecto de intensidad de turbulencia).

ES 2 291 519 T3

La adición de calor debida al proceso de combustión queda reforzada por el carácter exotérmico de la reacción del aluminio. Por lo tanto, la señal es tal que $dCO/dt/dT/dt$ es positivo.

5 Sin embargo, se observa que la mayoría de los productores de aluminio tienden a trabajar en condiciones pobres de oxígeno. Se produce entonces CO a partir de dos orígenes: la combustión incompleta y la reacción con la alúmina Al_2O_3 .

10 El CO producido por el quemador es un valor determinado para un defecto de oxígeno conocido. La producción de CO debido a la oxidación se deduce de la medida total de CO menos dicha cantidad producida por el quemador. Además, en el transcurso de una fase de fusión de aluminio, los ajustes del quemador varían poco: las variaciones de CO asociadas a la oxidación son similares a las variaciones de la cantidad de CO total.

15 Cuando se produce la interacción con la carga, en condiciones pobres de oxígeno, un valor positivo de $dCO/dt/dT/dt$ es una indicación clara de la oxidación, ya que la reacción con la alúmina es exotérmica.

20 Para un mismo ajuste pobre en oxígeno, es decir los mismos ajustes de los caudales de inyección de combustible y oxidante, $(CO)/(CO_2)$ aumenta más rápido que en el caso de la combustión simple. El aumento de la relación CO/CO_2 confirma la detección de la oxidación, ya que esta relación es independiente del contenido de hidrógeno H_2 incluso en humos secos.

Es preferible someter un valor positivo de $(dCO/dt/dT/dt)$ a una medición de la temperatura o a un muestreo condicional de temperatura.

25 A baja temperatura, se libera una parte del carbono de la carga mediante pirolisis de las pinturas y revestimientos de los desechos de aluminio, procediendo entonces el monóxido de carbono CO al mismo tiempo de la combustión propiamente dicha y de la descomposición del dióxido de carbono CO_2 .

Si los desechos de aluminio han sido tratados previamente, no se produce dicha pirolisis en el horno.

30 La pirolisis se produce hasta una temperatura de alrededor de $580^\circ C$. A menor temperatura, puede aparecer CO mientras que el oxígeno puede faltar y que la temperatura aumenta.

La relación $(dCO/dt)/(dT/dt)$ es entonces positiva.

35 En realidad, en dicho caso el proceso de combustión es del tipo:

combustible + partículas sólidas de carbono + oxígeno = productos de combustión.

40 Si las condiciones de alimentación de oxígeno siguen sin cambios con relación a la combustión simple del combustible, falta oxígeno.

El proceso de pirolisis de la pintura y los revestimientos parece demasiado caótico en el horno de aluminio para poder realizar un seguimiento y observarlo.

45 Por consiguiente, un valor positivo de $(dCO/dt/dT/dt)$ se somete preferiblemente a una condición sobre la temperatura.

50 Ésta puede medirse en el metal líquido, pero preferiblemente en los humos, reflejando la temperatura de los humos la temperatura del metal. Una diferencia de temperatura de 100 a $400^\circ C$ permite la transferencia de calor.

La medida de la temperatura puede compararse con un valor umbral predeterminado, por ejemplo en el ordenador 20.

55 Se observa asimismo que, debido a esta correlación entre las temperaturas de los humos y del metal, se puede poner previamente en práctica un período de aprendizaje en cada horno, siendo los hornos encontrados en la industria del aluminio de una gran variedad.

60 Además, los diversos modos de transferencia de calor no se prestan a una solución fácil mediante modelización, siendo posible un proceso de aprendizaje por ejemplo mediante redes de neuronas, sin exclusión de una medición más simple de la diferencia de temperatura entre el metal y los humos.

Otras condiciones pueden conducir, en la práctica, a una señal $dCO/dt/dT/dt$ con valor positivo.

65 Es el caso durante la puesta en funcionamiento de los quemadores con el metal caliente, que puede producirse por ejemplo tras un corto período de parada de los quemadores, tras un sobrecalentamiento de los refractarios. En este caso, el aumento de la temperatura de los humos no refleja un desequilibrio de la combustión o una interacción química con la carga, sino simplemente una entrada de energía.

Sin embargo, si el monóxido de carbono CO se produce al mismo tiempo, indica una producción de óxido de aluminio en el metal líquido caliente, muy probablemente bajo el quemador.

A continuación, cuando la capa oxidada recubre el líquido, la oxidación se ralentiza y el monóxido de carbono (CO) disminuye. Un valor positivo de $dCO/dt/dT/dt$ es también un detector de oxidación.

Una variante de la invención consiste en detectar la oxidación de la superficie de aluminio mediante una medición directa del contenido de CO de los humos a la que se resta el contenido de CO que hubiera producido el quemador en condiciones similares de temperatura e inyección de oxidante y de combustible, en la ausencia de interacción con la carga.

La realización práctica implica un dispositivo totalmente similar al presentado en la figura 1, pero añadiendo al medio 15 de inyección de oxidante un caudalómetro 21 y al medio 17 de inyección de combustible otro caudalómetro 23. Esta disposición está representada en la figura 4.

Un calibrado inicial del quemador permite determinar el contenido de CO producido por el quemador sólo, anotando el contenido de CO para distintos valores de caudal de las inyecciones y de temperatura de los humos. Se tabulan dichos valores de CO medidos por el dispositivo 10, y se introducen en el ordenador 20.

Dichos valores tabulados se restan del contenido medido por 10 durante la fusión del aluminio y en las mismas condiciones de caudal de combustible, de caudal de oxidante y de temperatura de los humos. El valor así obtenido indica el contenido de CO producido por la reacción de oxidación entre el aluminio y el CO₂ según la reacción



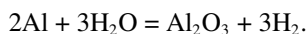
Por motivos similares a los descritos anteriormente, conviene validar dicha detección de oxidación mediante un muestreo condicional de temperatura ya que los productos de pirólisis emanados a baja temperatura invalidan la tabulación de los valores de CO.

Una tercera variante de la invención se obtiene midiendo el contenido de H₂ de los humos al que se resta el contenido de H₂ que hubiera producido el quemador en condiciones similares de temperatura y de inyección de oxidante y de combustible en la ausencia de interacción con la carga.

La realización práctica implica un dispositivo totalmente similar al presentado en la figura 4, pero añadiendo a los medios de detección de la composición de los humos un medio 19 de medición del contenido de H₂. Esta disposición se presenta en la figura 5.

Un calibrado inicial del quemador permite determinar el contenido de H₂ producido por el quemador sólo, anotando el contenido de H₂ para distintos valores de caudal de las inyecciones y de temperatura de los humos. Dichos valores de H₂ medidos por el dispositivo 10 se tabulan y se introducen en el ordenador 20.

Dichos valores tabulados se restan del contenido medido por 10 durante la fusión del aluminio y en las mismas condiciones de caudal de combustible, de caudal de oxidante y de temperatura de los humos. El valor así obtenido indica el contenido de H₂ producido por la reacción de oxidación entre el aluminio y H₂O según la reacción



Por motivos similares a los descritos anteriormente, conviene validar dicha detección de oxidación mediante un muestreo condicional de temperatura ya que los productos de pirólisis emanados a baja temperatura invalidan la tabulación de los valores de CO.

Es preferible la medición de CO que la de H₂, ya que la medición del contenido de H₂ es más delicada de realizar, dado que el hidrógeno H₂ es soluble en el aluminio líquido, lo que podría alterar la medición. Sin embargo, dado que la superficie de intercambio entre la atmósfera y el metal líquido está limitada, la detección de la oxidación mediante H₂ es posible, ya que la medición de H₂ es neta y clara, como lo demuestran las figuras 6.

Dichas figuras 6 presentan valores de los registros temporales de las concentraciones de CO y de H₂ en el transcurso de una fusión en un horno equipado con un quemador que funciona en modo de combustión con oxígeno. Las curvas I y representan los contenidos de CO y las curvas II los contenidos de H₂. La figura 6a corresponde a un nivel de temperatura de humos de 935°C, y las figuras b y c a un nivel de temperatura de 1.080°C.

El análisis de humos expuesto anteriormente puede utilizarse como base para una regulación de un procedimiento de fusión del aluminio.

Tras haber introducido aluminio sólido en un horno, se realiza su fusión, en el transcurso de la cual se detectan las variaciones de monóxido de carbono y de la temperatura de los humos que salen del horno.

ES 2 291 519 T3

Las señales procedentes de los sensores 10, 12 y eventualmente 14, 16, 18 pueden someterse a un tratamiento de la señal adecuado, y utilizarse como entradas de un proceso de regulación. Todas estas operaciones pueden realizarse por medio de un ordenador 20.

5 Una posibilidad de regulación la constituye la reducción de la densidad de potencia del quemador 24 durante la detección de la oxidación, proporcionando el ordenador 20 por ejemplo una consigna a los medios 15 y 17 de alimentación.

10 Otra posibilidad reside en la modificación de las relaciones de los caudales de combustible y de oxidante suministrados al quemador 24, también esta vez actuando sobre los medios 15 y 17. Habitualmente, esta composición se ajusta bien para dar la potencia máxima, con un pequeño exceso de oxígeno (contenido de oxígeno en los humos incluido entre 0 y 2 al 3% de oxígeno), bien mediante la utilización, por algunos productores, únicamente de quemadores con mezcla pobre en oxígeno, asegurándose así la ausencia de acceso directo del oxígeno al aluminio. Se obtiene dicha atmósfera de gas de combustión de carácter reductor, bien cerrando en parte el dispositivo 15 de inyección del oxidante, bien incrementando, si es posible, la apertura del dispositivo 17 de inyección de combustible. De un valor de la relación del caudal de oxidante al caudal de combustible del 100%, se puede reducir dicha relación al 70%.

20 El revestimiento del metal mediante una atmósfera reductora, únicamente tras la detección de la oxidación, permite ahorrar en el rendimiento térmico cuando no existen pérdidas de combustión.

A tal efecto, se pueden prever unos medios (no representados en la figura 1) para introducir dicho gas reductor en el horno, por ejemplo medios de alimentación de dicho gas y un conducto que introduzca dicho gas en el horno, accionándose la apertura del conducto mediante el ordenador 20 durante la detección de la oxidación.

25 En realidad, una llama pobre en oxígeno produce monóxido de carbono CO que contiene una parte de energía que no se transmite a la carga. Unos quemadores de oxígeno muy eficaces pueden tolerar dicha pérdida de energía.

30 Otro procedimiento de regulación consiste, cuando se detecta el principio de la oxidación, en una etapa de agitación del baño 4 mediante bombas 30 comandadas por el ordenador 20.

En este caso, el análisis de los humos puede indicar asimismo si el nivel de potencia de combustión por encima del baño agitado puede incrementarse o debe reducirse.

35 Además, el análisis de los humos según la invención, y la adición en el transcurso del tiempo de la cantidad de óxido producido, puede utilizarse como herramienta de toma de decisión en los que se refiere a la operación de retirada de espuma.

40 La optimización de la frecuencia de retirada de espuma es una ventaja desde el punto de vista del rendimiento térmico (no se enfría el interior del horno mientras no se abre la puerta) y para el rendimiento en metal (ya que se evita el acceso inútil del aire hasta el metal caliente).

45 Finalmente, el análisis de la invención, especialmente el de la concentración de vapor de agua H₂O, puede utilizarse para el diagnóstico del horno.

Un diagnóstico de entrada de aire es importante para el rendimiento térmico y la evaluación del equilibrio térmico.

50 La invención se aplica al ámbito de la fusión del aluminio. En la industria del aluminio secundario, una mejora del 1% de la cantidad de metal producido equivale a un ahorro del 10% de energía.

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de fusión de aluminio en el cual:

- se introduce aluminio sólido en un horno (2),
- se realiza la fusión del aluminio, para formar un baño (4) de aluminio,
- se mide la concentración de CO de los humos y su temperatura,
- se detectan las variaciones de concentración de monóxido de carbono (CO) y de la temperatura en los humos (6) que salen del horno,
- se deduce la formación de óxidos de aluminio en la superficie del baño (4) de aluminio, siendo las variaciones de concentración de monóxido de carbono y de temperatura en los humos en el mismo sentido o teniendo el mismo signo durante una oxidación del aluminio,
- se regula el procedimiento de fusión en función de la formación de óxidos de aluminio.

2. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que se detecta además la variación o la formación de vapor de agua (H₂O) y/o de dióxido de carbono (CO₂) y/o de oxígeno (O₂).

3. Procedimiento, según la reivindicación 1 o 2, en el que se realiza la comparación de los sentidos de variaciones de la concentración de monóxido de carbono (CO) y de la temperatura.

4. Procedimiento, según la reivindicación 1 o 2, en el que se realiza el producto o la relación de las variaciones temporales de la concentración de monóxido de carbono (CO) y de la temperatura.

5. Procedimiento de fusión de aluminio, según una de las reivindicaciones 1 a 4, que incluye además las siguientes etapas:

- se mide el caudal de combustible y el caudal de oxidante,
- se establece la relación de caudal de oxidante con caudal de combustible para deducir, por medio de una tabla de referencia establecida mediante calibrado del quemador, el contenido de monóxido de carbono CO de los humos que hubiera producido el quemador sin interacción con la carga.

6. Procedimiento, según la reivindicación 5, en el que se mide el contenido de monóxido de carbono CO en los humos y del que se resta el valor del contenido de monóxido de carbono CO que produce el quemador en la ausencia de carga, y se deduce la cantidad de óxido de aluminio formado.

7. Procedimiento de fusión de aluminio, según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que:

- se mide el caudal de combustible y el caudal de oxidante,
- se establece la relación de caudal de oxidante a caudal de combustible para deducir, por medio de una tabla de referencia establecida mediante calibrado del quemador, el contenido de hidrógeno H₂ de los humos que hubiera producido el quemador sin interacción con la carga.

8. Procedimiento, según la reivindicación 7, en el que se mide en los humos el contenido de hidrógeno H₂, del que se resta el valor del contenido de hidrógeno que produce el quemador en la ausencia de carga, y se deduce la cantidad de óxido de aluminio formado.

9. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que se determina además si la temperatura del baño es superior a la temperatura de pirolisis de revestimientos y pinturas del aluminio.

10. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el monóxido de carbono (CO) y/o el vapor de agua (H₂O) y/o el dióxido de carbono (CO₂) y/o el oxígeno (O₂) se detectan con la ayuda de uno o varios diodos láser (10, 14, 16, 18).

11. Procedimiento, según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual, tras la detección de la formación de óxidos de aluminio, se reduce la potencia de por lo menos un quemador (24) que sirve para realizar la fusión del aluminio.

12. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 11, en el cual, tras la detección de la formación de óxidos de aluminio, se modifica la estequiometría de por lo menos un quemador (24) que sirve para realizar la fusión del aluminio.

ES 2 291 519 T3

13. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 12, en el cual, tras la detección de la formación de óxidos de aluminio, se realiza una agitación del baño de aluminio.

5 14. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 13, en el cual, tras la detección de la formación de óxidos de aluminio, se lleva a cabo una operación de retirada de espuma de la superficie del baño de aluminio.

15. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 14, en el cual, tras la detección de la formación de óxidos de aluminio, se introduce una atmósfera reductora en el horno.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

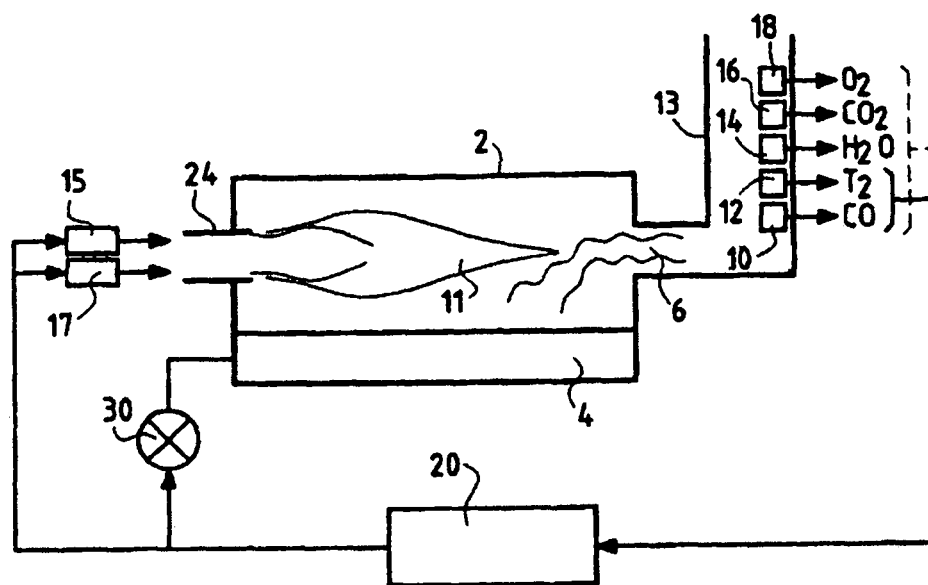
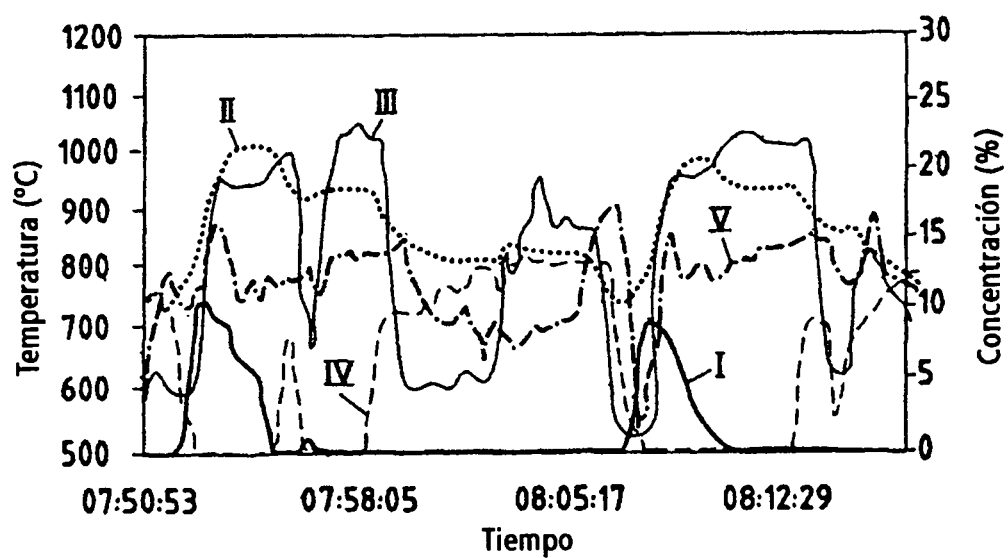


FIG.1

FIG.2



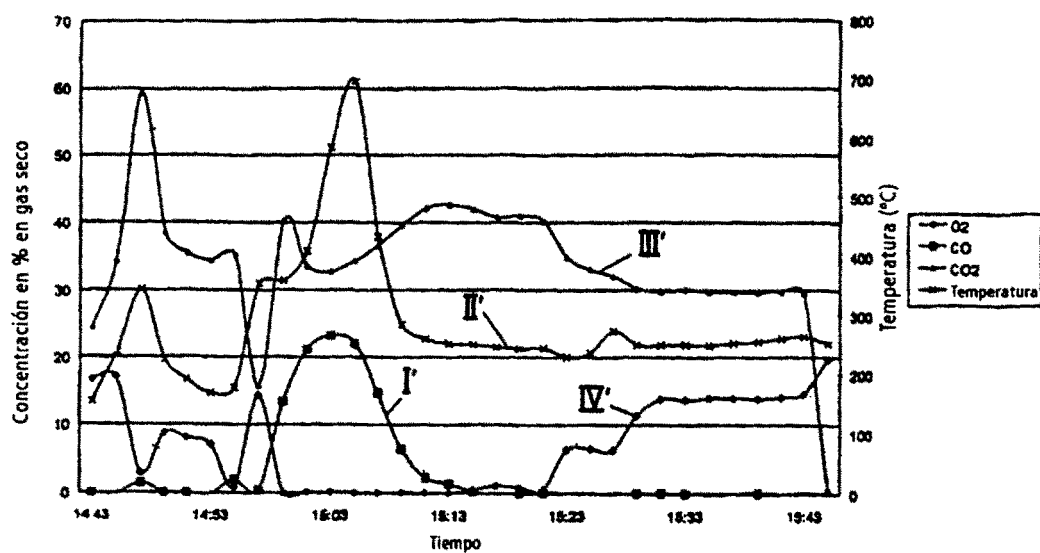


FIG.3A

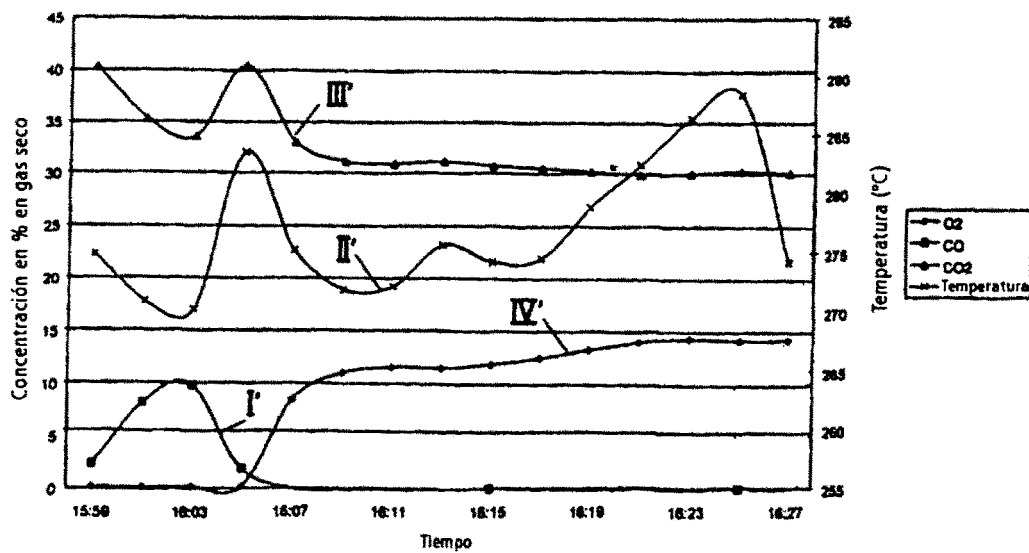


FIG.3B

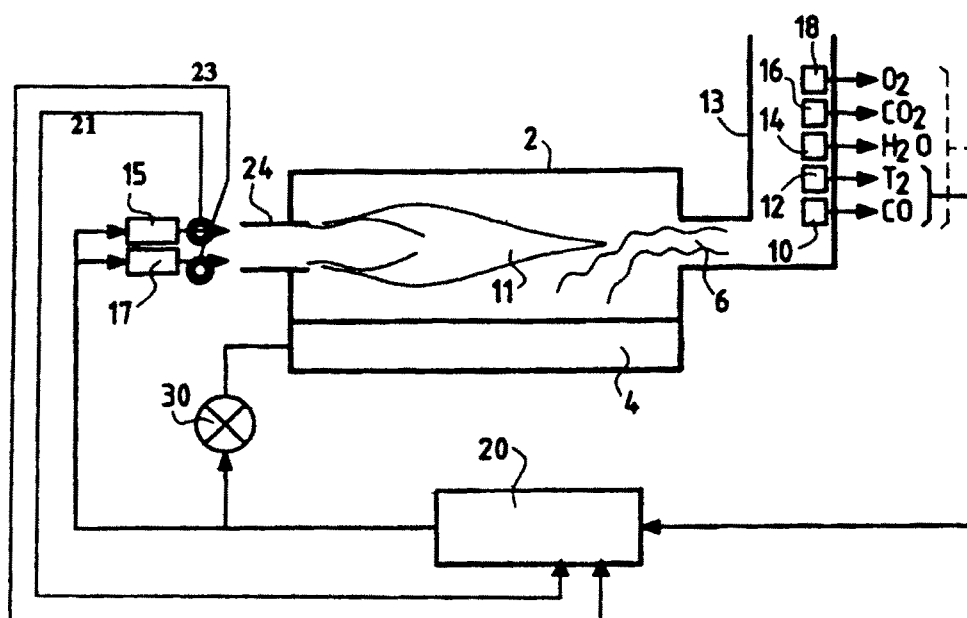


FIG 4

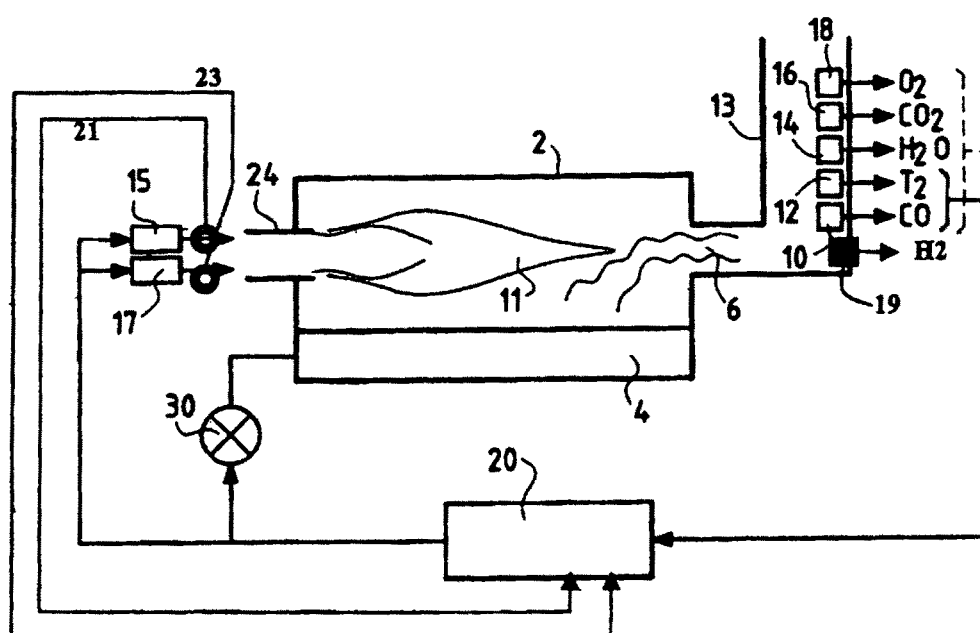


FIG 5

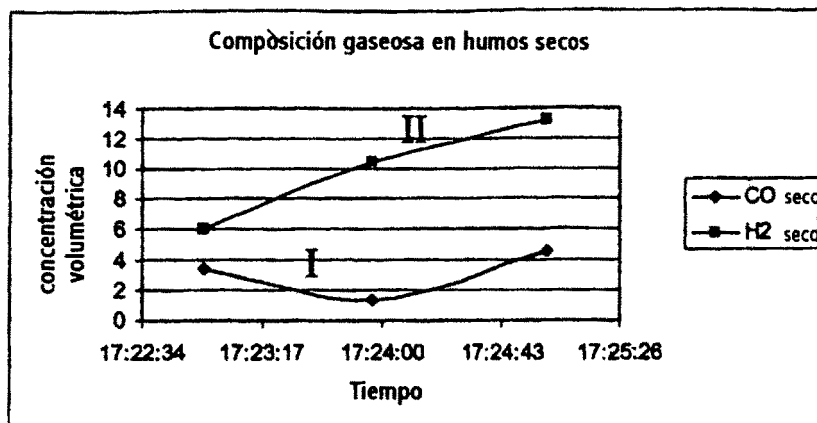


Fig 6.a.

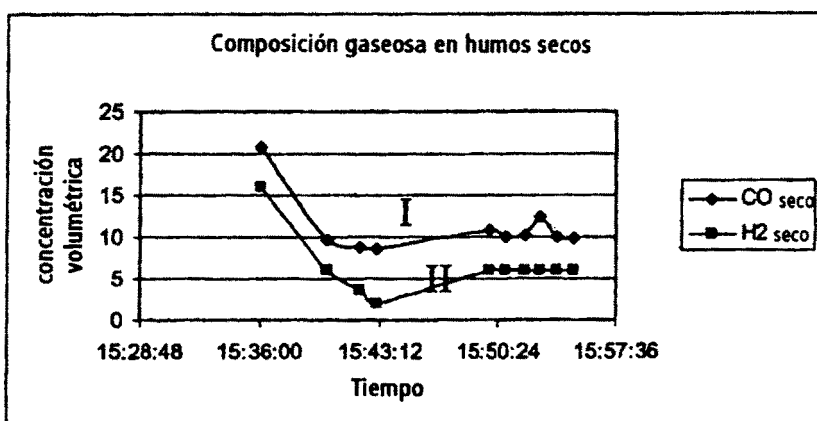


Fig 6.b.

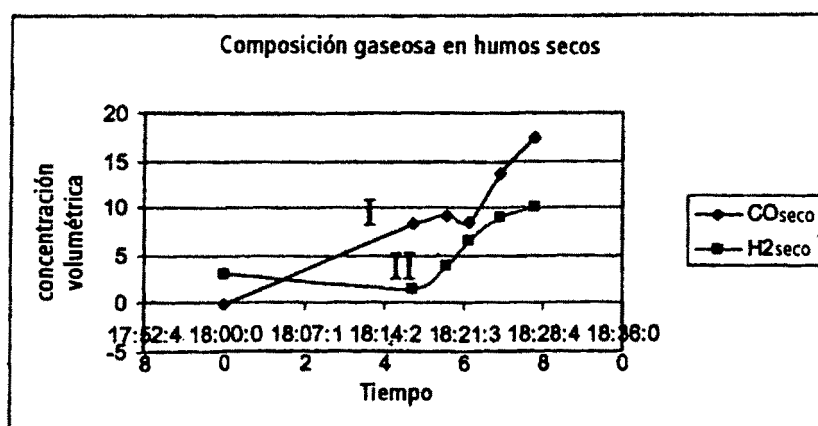


Fig 6.c.