

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 969 747**

51 Int. Cl.:

| | |
|-------------------|-----------|
| G01B 17/02 | (2006.01) |
| C21B 7/24 | (2006.01) |
| C21C 5/44 | (2006.01) |
| F27D 21/00 | (2006.01) |
| G01M 7/08 | (2006.01) |
| G01N 29/04 | (2006.01) |
| G01N 29/44 | (2006.01) |
| G01N 29/46 | (2006.01) |
| G01M 5/00 | (2006.01) |

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.11.2020 PCT/IB2020/061212**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **03.06.2021 WO21105940**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.11.2020 E 20816635 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.11.2023 EP 4065928**

54 Título: **Sistema y procedimiento para estimar tanto el espesor como el estado de desgaste del material refractario de un horno metalúrgico**

30 Prioridad:
29.11.2019 WO PCT/IB2019/060326

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.05.2024

73 Titular/es:
**ARCELORMITTAL (100.0%)
24-26, Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU**

72 Inventor/es:
**GÓMEZ GARCÍA, PABLO;
FERNANDEZ ALVAREZ, JOSÉ PAULINO;
BAQUET GONZÁLEZ, IGNACIO;
SÍMARO, JOSÉ TOMÁS;
HERRERO BLANCO, IGNACIO;
FERNÁNDEZ DIÉGUEZ, ENOL y
SUÁREZ LÁZARE, CARLOS JAVIER**

74 Agente/Representante:
PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 2 969 747 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

Sistema y procedimiento para estimar tanto el espesor como el estado de desgaste del material refractario de un horno metalúrgico

5

Campo técnico

[0001] La invención se encuentra dentro del campo de la metalurgia y, más particularmente, dentro del campo de los materiales refractarios dentro de los hornos metalúrgicos.

10

[0002] La invención se refiere a un sistema y un procedimiento para estimar tanto el espesor como el estado de desgaste del material refractario de un horno metalúrgico, como por ejemplo, un alto horno.

ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA ANTERIOR

15

[0003] Un alto horno típicamente comprende una capa externa de placa metálica, preferentemente una capa externa de placa de acero, una capa interna y una capa de apisonamiento intermedia ambas fabricadas de un material refractario. Este material refractario permite un buen aislamiento térmico de la capa externa y forma la pared refractaria del alto horno.

20

[0004] Sin embargo, dado que el alto horno puede estar sometido a temperaturas muy altas, superiores a 1500 grados Celsius, y dado que los metales fundidos se producen por reacciones químicas que involucran más de 1000 gases y materiales, el material refractario se somete a altas tensiones químicas y térmicas, lo que resulta en su deterioro y reducción de espesor progresivos. Por lo tanto, si el material refractario baja más allá de un espesor crítico, esto puede causar una disfunción importante del alto horno, lo que a menudo conduce a accidentes graves.

25

[0005] Ya se conocen técnicas de inspección no destructiva para estimar el espesor del material refractario de un alto horno, conocido como el procedimiento de eco de impacto.

30

[0006] Por ejemplo, el documento WO 2019/186256 A1 muestra un aparato para estimar el espesor de un material refractario de un horno metalúrgico que comprende un medio de generación de ondas de choque, un sensor de ondas de choque y un medio de procesamiento para derivar dicho espesor en función de un análisis de frecuencia de las señales medidas en el dominio del tiempo.

35

[0007] Sin embargo, esas técnicas conocidas no son lo suficientemente precisas, ni estiman el espesor ni el estado de desgaste de materiales multicapa como el material refractario de un alto horno. Por ejemplo, cuando se somete a un alto estrés químico y térmico, puede aparecer una capa debilitada dentro del material refractario, especialmente cuando está hecho de carbono. Las técnicas de eco de impacto no son lo suficientemente precisas como para determinar con precisión la posición y el espesor de dicha capa debilitada, a menudo llamada capa quebradiza. Además, las técnicas de eco de impacto no pueden detectar espacios de apisonamiento en la capa de apisonamiento.

40

OBJETIVO DE LA INVENCION

45

[0008] Por lo tanto, el objetivo de la presente invención es remediar los inconvenientes de la técnica anterior proporcionando un sistema y un procedimiento no destructivo para estimar tanto el espesor como el estado de desgaste de un material refractario de un alto horno.

RESUMEN DE LA INVENCION

50

[0009] Para este propósito, un primer objeto de la presente invención consiste en un sistema para estimar tanto el espesor como el estado de desgaste de un material refractario (1) de un horno metalúrgico, que comprende al menos:

55

- medios de generación de ondas de choque configurados para generar al menos una onda de choque que se propaga al material refractario,

- un sensor de ondas de choque configurado para detectar al menos una onda de choque reflejada en el material refractario,

60

- medios de procesamiento que comprenden una base de datos de datos simulados en el dominio de frecuencia denominados espectros simulados que representan ondas de choque simuladas reflejadas en materiales refractarios simulados de estado y espesor conocidos, donde cada espectro simulado está correlacionado con datos de estado y espesor conocidos del material refractario simulado considerado, donde los medios de procesamiento están

65

configurados:

o registrar la onda de choque reflejada como una señal en el dominio del tiempo y convertirla en datos en el dominio de frecuencia denominados espectro experimental, y

5 o comparar el espectro experimental con una pluralidad de espectros simulados de la base de datos, para determinar el espectro simulado de mejor ajuste con el espectro experimental y estimar el espesor y el estado del material refractario del horno utilizando datos de estado y espesor conocidos correlacionados con el espectro simulado de mejor ajuste

10 **[0010]** El sistema según la invención también puede tener las características opcionales enumeradas a continuación, consideradas individualmente o en combinación:

• Los medios de procesamiento están configurados para, secuencialmente:

15 i. Determinar la posición de los picos de frecuencia resonantes en los datos del dominio de frecuencia;

ii. Filtrar los espectros simulados de la base de datos con los picos de frecuencia de resonancia, y seleccionar un grupo correspondiente reducido de espectros simulados que comprenda dichos picos de frecuencia de resonancia, y

20

iii. Determinar un espectro simulado único del grupo correspondiente reducido, cuyos picos de frecuencia de resonancia sean los más cercanos en altura a los del espectro experimental, siendo dicho espectro simulado único el espectro simulado de mejor ajuste.

25 - Los medios de generación de ondas de choque comprenden un martillo instrumentado configurado para golpear la pared del horno metalúrgico con el fin de generar al menos una onda de choque acústica que se propaga y refleja en el material refractario.

30 - El sensor de onda de choque comprende al menos un acelerómetro configurado para medir la reacción mecánica del material refractario causada por la reflexión de la onda de choque generada.

[0011] Un segundo objeto de la invención consiste en un procedimiento para estimar tanto el espesor como el estado de desgaste de un material refractario de un horno metalúrgico con un sistema como se ha descrito anteriormente, comprendiendo dicho procedimiento al menos las siguientes etapas:

35

i. Generar al menos una onda de choque que se propaga en el material refractario;

ii. Detectar al menos una onda de choque reflejada en el material refractario;

40

iii. Registrar la onda de choque reflejada como una señal en el dominio del tiempo;

iv. Convertir dicha señal en el dominio del tiempo en datos en el dominio de frecuencia denominados espectro experimental;

45

v. Comparar el espectro experimental con al menos una pluralidad de espectros simulados de la base de datos, cada espectro simulado se correlaciona con datos de estado y espesor conocidos del material refractario considerado;

50

vi. Determinar el espectro simulado de mejor ajuste con el espectro experimental, y

vii. Estimar el espesor y el estado del material refractario del horno utilizando datos de estado y espesor conocidos correlacionados con el espectro simulado de mejor ajuste.

55 **[0012]** El procedimiento también puede tener las características opcionales enumeradas a continuación, consideradas individualmente o en combinación:

- Las etapas v y vi se implementan secuencialmente:

60

a. Determinar la posición de los picos de frecuencia resonante en el espectro experimental;

b. Filtrar los espectros simulados de la base de datos con los picos de frecuencia de resonancia detectados, y seleccionar un grupo correspondiente reducido de espectros simulados que comprende dichos picos de frecuencia de resonancia, y

65

c. Determinar un espectro simulado único del grupo correspondiente reducido, cuyos picos de frecuencia de

resonancia sean los más cercanos en altura a los del espectro experimental, siendo dicho espectro único el espectro simulado de mejor ajuste

- 5 - La etapa vii se implementa estimando al menos el espesor total del material refractario y la posición y el espesor de al menos una capa en la que el material refractario se debilita por anomalías, dicha capa se denomina capa quebradiza.
- Se genera una pluralidad de ondas de choque, se detecta una pluralidad de ondas de choque reflejadas y se registran como señales en el dominio del tiempo, y en señales en el dominio de frecuencia.
- 10 - La determinación de la posición de los picos de frecuencia resonante en el espectro experimental se implementa siguiendo las etapas de:
- 15 a. promediar aritméticamente los espectros experimentales y seleccionar un primer conjunto de picos representativos;
- b. promediar geoméricamente los espectros experimentales y seleccionar un segundo conjunto de picos representativos, y
- 20 c. Seleccionar un conjunto final de picos que se seleccionaron tanto en el primer conjunto como en el segundo conjunto, siendo dicho conjunto final de picos los picos de frecuencia resonante.
- Los picos del primer conjunto se seleccionan si su anchura es mayor que un valor umbral comprendido entre diez y veinte hercios.
- 25 - Los espectros simulados de la base de datos se filtran con los picos de frecuencia de resonancia detectados utilizando al menos un modelo de curvas de dispersión numérica con el fin de determinar los modos de propagación de las ondas de choque simuladas, filtrarlas con los picos de frecuencia de resonancia detectados y seleccionar el grupo correspondiente reducido de espectros simulados.
- 30 - El espectro simulado único se determina a partir del grupo correspondiente reducido utilizando al menos un modelo numérico transitorio.
- Los espectros del grupo correspondiente reducido se seleccionan y luego se comparan con el espectro experimental implementando al menos una de las siguientes etapas:
- 35 • Diferencia directa entre los espectros simulados y el espectro experimental;
- Comparación de la forma general de los espectros simulados y del espectro experimental;
- 40 • Determinación de las diferencias entre las posiciones de pico de altura máxima de respectivamente los espectros simulados y el espectro experimental;
- Correlación cruzada entre los espectros simulados y el espectro experimental.

45 INTRODUCCIÓN A LAS FIGURAS

[0013] Otras características y ventajas de la invención se describirán en la siguiente descripción, a modo de indicación y de ninguna manera limitativa, y con referencia a las figuras adjuntas, entre las que:

- 50 [Fig. 1] La Figura 1 representa una vista en sección de un alto horno;
- [Fig. 2] La Figura 2 representa una vista en sección del material refractario de un alto horno;
- 55 [Fig. 3a] La Figura 3a representa una vista en sección de una primera variante de material refractario de un alto horno que comprende un sistema de enfriamiento;
- [Fig. 3b] La Figura 3b representa una vista en sección de una segunda variante de un material refractario de un alto horno que comprende un sistema de enfriamiento;
- 60 [Fig. 3c] La Figura 3c representa una vista en sección de una tercera variante de un material refractario de un alto horno que comprende un sistema de enfriamiento;
- [Fig. 4] La Figura 4 representa una gráfica con una primera curva que representa espectros experimentales promediados aritméticamente y una segunda curva que representa espectros experimentales promediados geoméricamente.
- 65

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

5 **[0014]** El sistema y el procedimiento de la invención encuentran aplicación notablemente en la estimación tanto del espesor como del estado de desgaste del material refractario 1 de un horno metalúrgico 12, y más particularmente del material refractario 1 de una parte inferior específica del alto horno 12 que contiene metales fundidos, en los que la temperatura es la más alta.

10 **[0015]** La parte inferior del alto horno 12 comprende una capa externa 11 hecha de metal, típicamente acero. Con el fin de aislar térmicamente esta capa externa 11 y como se representa en las Figuras 1 y 2, el alto horno 12 comprende un material refractario 1 cuya composición se correlaciona con la temperatura a la que se somete.

15 **[0016]** En la parte inferior del alto horno 12, en la que la temperatura es superior a 1500 grados Celsius, el material refractario 1 comprende una capa interna gruesa 3 y una capa de apisonamiento intermedia delgada 2 colocada entre la capa externa metálica y la capa interna 3. La capa de apisonamiento 2 tiene un espesor de aproximadamente cinco a diez centímetros y está hecha preferentemente de cerámica. La capa interna 3, hecha de carbono, mide entre ochenta y cien centímetros.

20 **[0017]** Como se representa en las Figuras 3a a 3c, el alto horno 12 comprende además medios de enfriamiento 13, 14, 15 adaptados para enfriar el alto horno 12 con un refrigerante adaptado, por ejemplo agua. Estos medios de enfriamiento 13 - 15 son adyacentes a la capa externa de acero 11 del alto horno 12.

25 **[0018]** En una primera variante representada en la Figura 3a, el medio de enfriamiento 13 comprende un dispositivo de pulverización adaptado para pulverizar un refrigerante nebulizado de forma regular o continua contra la cara externa de la capa externa 11. La vaporización del refrigerante en la capa externa 11 ayuda a enfriar el alto horno 12.

30 **[0019]** En una segunda variante representada en la Fig. 3b, los medios de enfriamiento comprenden canales de enfriamiento 14 dispuestos contra la cara externa de la capa externa 11 (solo se representa un canal de enfriamiento 14 en la Fig. 3b). El refrigerante fluye a través de estos canales 14 y contribuye a enfriar el alto horno 12 a través de la capa externa 11.

35 **[0020]** En una tercera variante representada en la Figura 3c, los medios de enfriamiento comprenden duelas de enfriamiento 15 insertadas entre la capa exterior 11 y la capa de apisonamiento intermedia 2 (solo se representa una duela de enfriamiento 15 en la Figura 3c). El refrigerante fluye a través de estas duelas 15 y contribuye a enfriar el alto horno 12 a través de la capa de apisonamiento 2.

40 **[0021]** Como se ha representado anteriormente, el objetivo del sistema y el procedimiento de la invención es estimar, de manera no destructiva, tanto el estado como el espesor de las capas interna e intermedia 2, 3.

45 **[0022]** El estado de la capa 2, 3 significa el estado de desgaste de dicha capa 2, 3: el sistema y el procedimiento de la invención pueden detectar defectos y debilidades en el material refractario 1. Especialmente, la invención está diseñada para detectar espacios de apisonamiento en la capa intermedia 2, y para detectar la posición y el espesor de cualquier capa debilitada 5 en la capa interior 3, dicha capa debilitada se denomina capa quebradiza 5.

50 **[0023]** Como se representa en la Figura 2, el sistema y el procedimiento de la invención también pueden estimar el espesor L_1 de la capa interna "sana" restante 4, es decir, la capa de carbono restante entre la capa intermedia 2 y la capa quebradiza 5, y el espesor L_3 de la capa interna "dañada" 6, es decir, la capa de carbono más allá de la capa quebradiza 5.

[0024] El sistema y el procedimiento de la invención se aplican a cualquier alto horno 12 descrito anteriormente, ya sea que el alto horno 12 esté equipado con medios de enfriamiento 13 - 15 o no, y cualquiera que sea la variante de los medios de enfriamiento 13 - 15.

55 **[0025]** A continuación se describirá el sistema de la invención.

60 **[0026]** El sistema comprende al menos un martillo motorizado, configurado para golpear la capa externa del alto horno 12. El propósito de cada golpe realizado por el martillo es excitar el material refractario 1 del alto horno 12: después de cada golpe, se genera una onda de choque mecánica, típicamente una onda de choque acústica, y se propaga a través del material refractario 1. Por supuesto, se puede generar una pluralidad de ondas de choque con el martillo, ya que cada golpe genera una onda de choque.

65 **[0027]** El sistema también comprende al menos un sensor de ondas de choque para detectar la excitación del material refractario 1 del alto horno 12. En otras palabras, dicho sensor de ondas de choque se hace para detectar al menos una onda de choque reflejada en el material refractario 1. Dado que las ondas de choque provocan una

sucesión de compresiones y dilataciones en el material refractario 1, cada sensor de ondas de choque es preferiblemente un acelerómetro instalado en la superficie externa de la capa externa del alto horno 12, para poder detectar excitaciones mecánicas del material refractario 1.

5 **[0028]** El sistema comprende medios de procesamiento conectados eléctricamente al martillo motorizado y al acelerómetro y están configurados para registrar la onda de choque reflejada detectada por el acelerómetro. Esta señal registrada representa los desplazamientos del material refractario 1 en función del tiempo. La señal grabada es, por lo tanto, una señal en el dominio del tiempo.

10 **[0029]** Los medios de procesamiento también están configurados para convertir la señal en el dominio del tiempo en datos en el dominio de frecuencia nombrados en el siguiente "espectro experimental", por ejemplo, a través de un algoritmo de transformada rápida de Fourier. Gracias a esta conversión, el espectro experimental muestra los modos de propagación, lo que significa que cada frecuencia resonante se correlaciona con la excitación mecánica del material refractario 1. Los modos de propagación del espectro experimental se correlacionan con las propiedades
15 estructurales del material refractario 1, es decir, sus huecos en la capa de apisonamiento 2, su espesor total L y, si se aplica, su posición y espesor de la capa frágil 5 L₂.

[0030] Como se explica en una sección posterior y según la invención, el sistema utiliza los modos de propagación para estimar tanto el espesor L como el estado de desgaste del material refractario 1. Más
20 particularmente, los medios de procesamiento están configurados para comparar el espectro experimental con una pluralidad de espectros simulados.

[0031] Por lo tanto, los medios de procesamiento del sistema comprenden una base de datos de espectros simulados, cada espectro simulado es una transformada rápida de Fourier de una señal en el dominio del tiempo
25 simulada correspondiente a un material refractario conocido de un alto horno 12. En otras palabras, cada espectro simulado se correlaciona con un material refractario simulado del cual se conocen los espacios de apisonamiento, el espesor total y la posición y el espesor de la capa quebradiza.

[0032] Los espectros simulados se generan utilizando un software de análisis de elementos finitos conocido,
30 con el que se estudia una amplia gama de configuraciones de materiales refractarios. La base de datos puede comprender más de 200.000 espectros simulados, correspondientes a tantas configuraciones de material refractario.

[0033] Según la invención, se implementa un procedimiento para estimar tanto el espesor L como el estado del material refractario 1 del alto horno 12 mediante el sistema descrito anteriormente. A continuación se describirá este
35 procedimiento.

[0034] En la primera etapa del procedimiento, los medios de procesamiento controlan el martillo motorizado, para que pueda golpear la superficie de la capa externa del alto horno. Al mismo tiempo, el acelerómetro se activa para detectar cualquier señal de excitación del material refractario 1 del alto horno 12. El martillo genera así una onda
40 de choque que se propaga a través del material refractario 1.

[0035] En una segunda etapa, el acelerómetro detecta la onda de choque reflejada en el material refractario 1, registrándose así dicha onda de choque reflejada como una señal en el dominio del tiempo en una memoria de los medios de procesamiento.
45

[0036] En una tercera etapa, los medios de procesamiento convierten el dominio de la señal de tiempo en datos de dominio de frecuencia, con el fin de generar un espectro experimental representativo de la estructura del material refractario 1.

50 **[0037]** En la cuarta etapa, los medios de procesamiento comparan el espectro experimental con al menos una pluralidad de espectros simulados registrados en la base de datos, con el fin de determinar el espectro simulado de mejor ajuste con el espectro experimental. Para ello, los medios de procesamiento buscan picos resonantes representativos en el espectro experimental y los comparan con los picos de frecuencia resonante de la pluralidad de espectros simulados, siendo dichos picos resonantes los modos de propagación representativos. La siguiente
55 descripción describirá con precisión la forma en que se puede elegir el espectro simulado de mejor ajuste en dicha cuarta etapa.

[0038] Preferentemente, con el fin de aumentar la relación de señal a ruido, esas tres etapas se repiten secuencialmente con el fin de obtener una pluralidad de espectros experimentales representativos de la estructura del material refractario 1, típicamente entre diez y veinte espectros experimentales. Con el fin de reducir el ruido, esta
60

pluralidad de espectros experimentales se promedia aritméticamente siguiendo la fórmula
$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i$$
 donde n es el número de espectros experimentales y f, es el i-ésimo espectro experimental. El resultado se representa en la Figura

4, que muestra un espectro experimental 7 promediado aritméticamente, que es una curva que representa la amplitud de la señal experimental transformada de Fourier frente a la frecuencia.

[0039] Los medios de procesamiento seleccionan entonces un primer conjunto 9, 10 de picos representativos, dicha selección se basa en la altura y/o en el ancho del pico. Preferentemente, los medios de procesamiento solo seleccionan picos con un ancho mayor que un valor umbral comprendido entre diez y veinte hercios. Los espectros experimentales también se promedian geoméricamente mediante los medios de procesamiento que siguen la fórmula

$$\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n f_i}$$

. En otras palabras, la media geométrica es la n-ésima raíz del producto de los n espectros experimentales. El resultado también se representa en la Figura 4, que muestra dicho espectro experimental promediado geoméricamente 8. Por lo tanto, partes de los espectros experimentales que a menudo se repiten se amplían en dicho espectro promediado, como se representa en la Figura 4, que representa espectros promediados tanto aritmética como geoméricamente. Como resultado, los picos más representativos se magnifican en este espectro promediado geoméricamente, y los medios de procesamiento seleccionan así un segundo conjunto 9' de picos representativos. Como se muestra en la Figura 4, estos picos 9' son fáciles de elegir, ya que se destacan claramente del resto del espectro promediado geoméricamente 8.

[0040] El promedio aritmético y geométrico se implementa mediante los medios de procesamiento en paralelo. El objetivo es obtener dos medias independientes (media aritmética y media geométrica) en datos experimentales basados en esas dos etapas de procesamiento paralelas. Los medios de procesamiento seleccionan así un conjunto final de picos que se seleccionaron tanto en el primer conjunto como en el segundo conjunto. Los picos seleccionados en el conjunto final son los picos de frecuencia de resonancia representativos 9, directamente correlacionados con los modos de propagación representativos del material refractario 1 del alto horno 12.

[0041] Una vez que se determina el conjunto final de picos resonantes 9, los medios de procesamiento filtran al menos la pluralidad de espectros simulados con dichos picos resonantes seleccionados 9. Este filtrado se logra mediante el uso de un modelo de curvas de dispersión numérica conocido con el fin de determinar los modos de propagación de la onda de choque simulada, luego filtrarlos con los picos de frecuencia de resonancia detectados 9 y, finalmente, seleccionar un grupo reducido de espectros simulados que comprenden dichos picos de frecuencia de resonancia 9.

[0042] Los medios de procesamiento implementan al menos un modelo numérico transitorio conocido en el grupo reducido de espectros simulados, por ejemplo, un modelo de elementos finitos, con el fin de determinar un espectro simulado único a partir de este grupo reducido de espectros simulados. Este espectro simulado único es el espectro simulado que mejor se ajusta con el espectro experimental promediado aritméticamente 7. El espectro de mejor ajuste es el que comprende los picos resonantes cuyas respectivas alturas son las más cercanas a las de los picos resonantes 9 del espectro experimental 7 promediado aritméticamente.

[0043] Mientras se aplica el modelo transitorio, los medios de procesamiento determinan los parámetros de similitud implementando una o más de las siguientes etapas para determinar el espectro simulado de mejor ajuste a partir del grupo reducido de espectros simulados. Para cada etapa implementado, se genera un parámetro de similitud considerado:

- i. Diferencia directa entre los espectros simulados del conjunto final y el espectro experimental promediado aritméticamente 7;
- ii. Comparación de la forma general de los espectros simulados del conjunto final con el espectro experimental promediado aritméticamente 7;
- iii. Determinación de la diferencia entre los espectros simulados diezmados y el espectro experimental promediado aritméticamente 7 diezmado; un espectro diezmado es un espectro simplificado, obtenido, por ejemplo, mediante la aplicación de un filtro de paso bajo con el fin de suprimir las características seleccionadas del espectro original;
- iv. Determinación de las diferencias entre las posiciones de pico de altura máxima de respectivamente los espectros simulados del conjunto final y el espectro experimental 7 promediado aritméticamente, y/o
- v. Correlación cruzada entre los espectros simulados del conjunto final y el espectro experimental promediado aritméticamente 7, midiendo las similitudes entre los espectros simulados del conjunto final con el espectro experimental promediado aritméticamente 7. En otras palabras, cuantos más espectros estén distantes entre sí en el dominio de frecuencia, menor será el valor de correlación.

[0044] Para seleccionar el espectro simulado de mejor ajuste del grupo reducido, los medios de procesamiento generan una tabla con el porcentaje de similitud entre cada espectro simulado y el espectro experimental

aritméticamente promedio 7. Más específicamente, el porcentaje de similitud se determina considerando todos los parámetros simulados obtenidos mediante la implementación de una o más de las etapas anteriores. Además, todos los parámetros de similitud se consideran con el mismo peso. En otras palabras, si se determinan cinco parámetros de similitud, cada uno contribuye en un 20 % con la selección del espectro simulado de mejor ajuste. Con este enfoque, 5 cuanto más similares sean los espectros en forma, posición máxima, etc., mayor será el porcentaje de similitud entre estos espectros. El espectro simulado con el porcentaje más alto en la tabla es finalmente seleccionado por el medio de procesamiento para ser el espectro simulado de mejor ajuste.

[0045] Finalmente, en la quinta etapa del procedimiento, los medios de procesamiento seleccionan el material 10 refractario simulado en la base de datos correlacionado con el espectro simulado de mejor ajuste. Los medios de procesamiento generan entonces una tabla con todas las características de dicho material refractario simulado, que son altamente comparables con el material refractario analizado 1. Esto ofrece una estimación no destructiva muy precisa de las características del material refractario probado, en particular la presencia o ausencia de espacios de apisonamiento en la capa intermedia 2, el espesor L de la capa de carbono total 3, el espesor L_2 y la posición de la 15 capa quebradiza 5, si corresponde, y el espesor L_1 de la capa de carbono "sana" 4 entre la capa quebradiza 5 y la capa intermedia de apisonamiento 2. Además, con el procedimiento y el sistema de la invención, la estimación es precisa cualquiera que sea la configuración del horno metalúrgico, en particular la posición y el tipo de medios de enfriamiento como los descritos en las Figuras 3a a 3c.

20

REIVINDICACIONES

1. Sistema para estimar tanto el espesor como el estado de desgaste de un material refractario (1) de un horno metalúrgico (12), que comprende al menos:
- medios de generación de ondas de choque configurados para generar al menos una onda de choque que se propaga al material refractario (1),
 - un sensor de onda de choque configurado para detectar al menos una onda de choque reflejada en el material refractario (1),
 - medios de procesamiento que comprenden una base de datos de datos simulados en el dominio de frecuencia denominados espectros simulados que representan ondas de choque simuladas reflejadas en materiales refractarios simulados de estado y espesor conocidos, donde cada espectro simulado está correlacionado con datos de estado y espesor conocidos del material refractario simulado considerado, donde los medios de procesamiento están configurados:
 - registrar la onda de choque reflejada como una señal en el dominio del tiempo y convertirla en datos en el dominio de frecuencia denominados espectro experimental, y
 - comparar el espectro experimental con una pluralidad de espectros simulados de la base de datos, para determinar el espectro simulado de mejor ajuste con el espectro experimental y para estimar el espesor y el estado del material refractario (1) del horno (12) utilizando datos de estado y espesor conocidos correlacionados con el espectro simulado de mejor ajuste.
2. Sistema según la reivindicación 1, donde dichos medios de procesamiento están configurados para, secuencialmente:
- i. Determinar la posición de los picos de frecuencia resonantes (9) en los datos del dominio de frecuencia;
 - ii. Filtrar los espectros simulados de la base de datos con los picos de frecuencia de resonancia (9), y seleccionar un grupo correspondiente reducido de espectros simulados que comprenda dichos picos de frecuencia de resonancia (9), y
 - iii. Determinar un espectro simulado único del grupo correspondiente reducido, cuyos picos de frecuencia de resonancia sean los más cercanos en altura a los (9) del espectro experimental, siendo dicho espectro simulado único el espectro simulado de mejor ajuste.
3. Sistema según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, donde los medios de generación de ondas de choque comprenden un martillo instrumentado configurado para golpear la pared del horno metalúrgico (11) con el fin de generar al menos una onda de choque acústica que se propaga y se refleja en el material refractario (1).
4. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el sensor de ondas de choque comprende al menos un acelerómetro configurado para medir la reacción mecánica del material refractario (1) causada por la reflexión de la onda de choque generada.
5. Procedimiento para estimar tanto el espesor como el estado de desgaste de un material refractario (1) de un horno metalúrgico (12) con un sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, comprendiendo dicho procedimiento al menos las siguientes etapas:
- i. Generar al menos una onda de choque que se propague al material refractario (1);
 - ii. Detectar al menos una onda de choque reflejada en el material refractario (1);
 - iii. Registrar la onda de choque reflejada como una señal en el dominio del tiempo;
 - iv. Convertir dicha señal en el dominio del tiempo en datos en el dominio de frecuencia denominados espectro experimental;
 - v. Comparar el espectro experimental con al menos una pluralidad de espectros simulados de la base de datos, cada espectro simulado se correlaciona con datos de estado y espesor conocidos del material refractario considerado;
 - vi. Determinar el espectro simulado de mejor ajuste con el espectro experimental, y
 - vii. Estimar el espesor y el estado del material refractario del horno (12) utilizando datos de estado y espesor conocidos correlacionados con el espectro simulado de mejor ajuste.
6. El procedimiento según la reivindicación anterior, donde las etapas v y vi se implementan secuencialmente:
- a. Determinar la posición de los picos de frecuencia resonante (9) en el espectro experimental;
 - b. Filtrar los espectros simulados de la base de datos con los picos de frecuencia de resonancia (9) detectados, y seleccionar un grupo correspondiente reducido de espectros simulados que comprenda dichos picos de frecuencia de resonancia (9), y
 - c. Determinar un espectro simulado único del grupo correspondiente reducido, cuyos picos de frecuencia de

resonancia son los más cercanos en altura a los (9) del espectro experimental, siendo dicho espectro único el espectro simulado que mejor se ajusta.

7. Procedimiento según la reivindicación 5 o la reivindicación 6, donde la etapa vii se implementa
5 estimando al menos el espesor total (L) del material refractario (1) y la posición y espesor (L_2) de al menos una capa en la que el refractario se debilita por anomalías, dicha capa se denomina capa frágil (5).
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, donde se generan una pluralidad de ondas
10 de choque, se detectan una pluralidad de ondas de choque reflejadas y se registran como señales en el dominio del tiempo, y se convierten en señales en el dominio de frecuencia.
9. Procedimiento según las reivindicaciones 6 y 8, donde la determinación de la posición de los picos de
frecuencia de resonancia (9) en el espectro experimental se implementa siguiendo las etapas de:
- 15 a. promediar aritméticamente los espectros experimentales y seleccionar un primer conjunto de picos representativos (9, 10);
b. promediar geoméricamente los espectros experimentales y seleccionar un segundo conjunto de picos representativos (9'), y
20 c. seleccionar un conjunto final de picos que se seleccionaron tanto en el primer conjunto como en el segundo conjunto, siendo dicho conjunto final de picos los picos de frecuencia resonante.
10. Procedimiento según la reivindicación 9, donde los picos (9, 10) del primer conjunto se seleccionan si
su anchura es mayor que un valor umbral comprendido entre diez y veinte hercios.
- 25 11. Procedimiento según la reivindicación 9 o la reivindicación 10, donde los espectros simulados de la base de datos se filtran con los picos de frecuencia resonante (9) detectados utilizando al menos un modelo de curvas de dispersión numérica para determinar los modos de propagación de las ondas de choque simuladas, para filtrarlos con los picos de frecuencia resonante (9) detectados y para seleccionar el grupo correspondiente reducido de espectros simulados.
30
12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, donde el espectro simulado único se determina a partir del grupo correspondiente reducido utilizando al menos un modelo numérico transitorio.
13. Procedimiento según la reivindicación 11 o la reivindicación 12, donde los espectros del grupo
35 correspondiente reducido se seleccionan y a continuación se comparan con el espectro experimental implementando al menos una de las siguientes etapas:
- Diferencia directa entre los espectros simulados y el espectro experimental;
 - Comparación de la forma general de los espectros simulados y del espectro experimental;
 - 40 • Determinación de las diferencias entre las posiciones de pico de altura máxima de respectivamente los espectros simulados y el espectro experimental;
 - Correlación cruzada entre los espectros simulados y el espectro experimental.

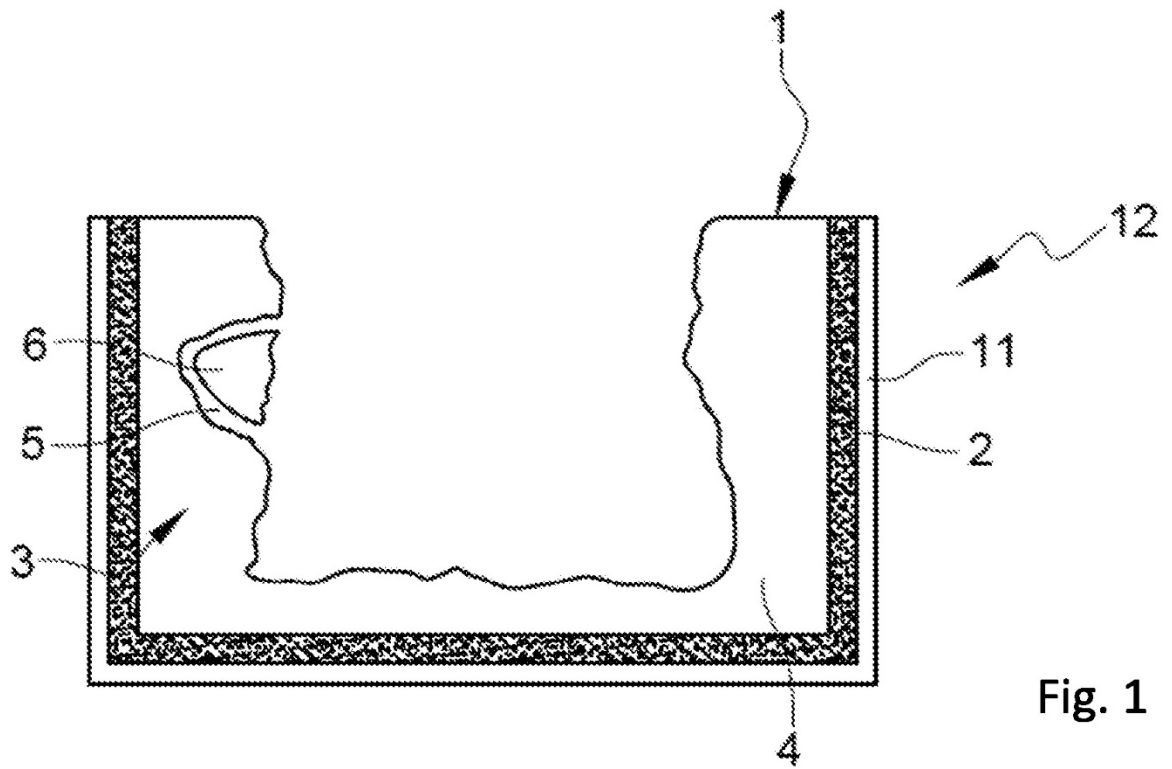


Fig. 1

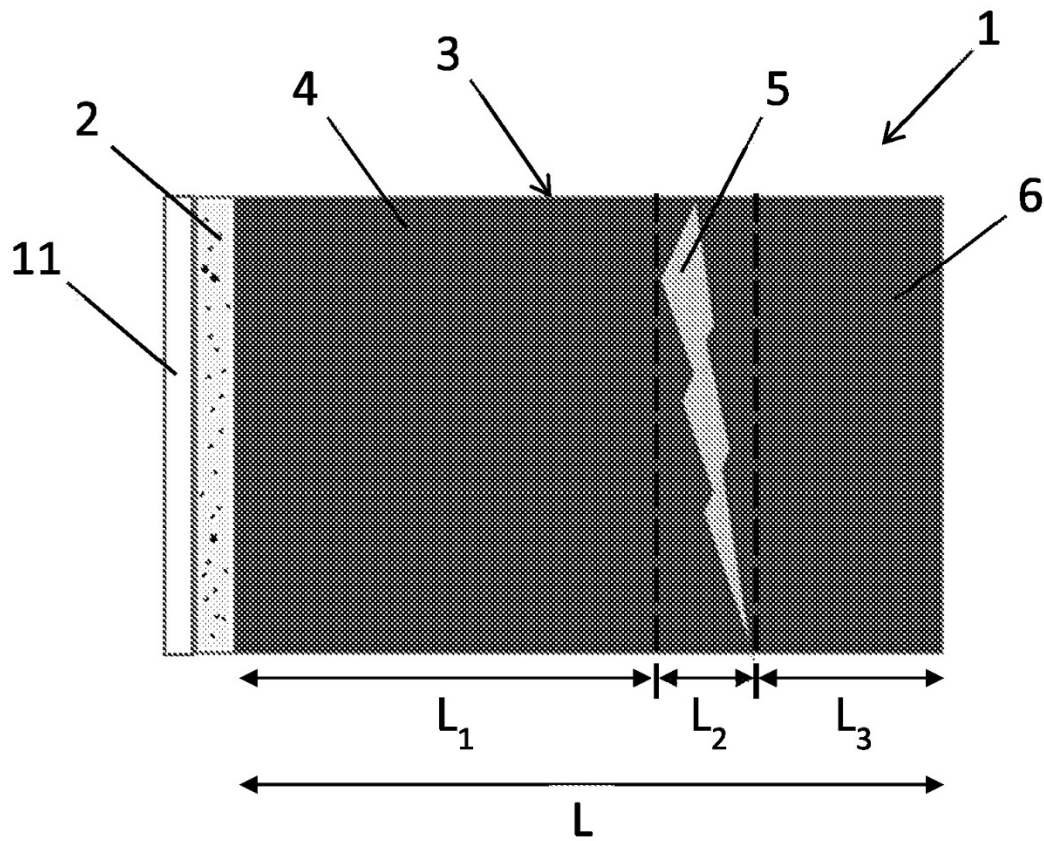


Fig. 2

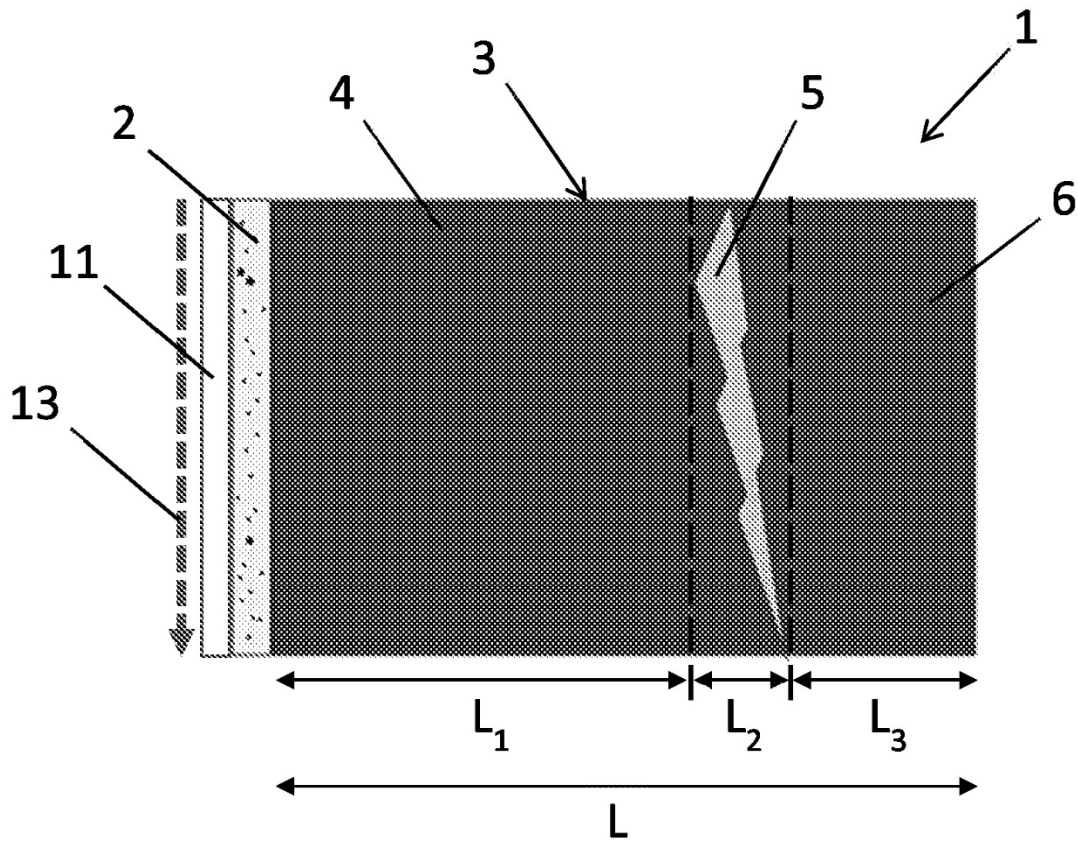


Fig. 3a

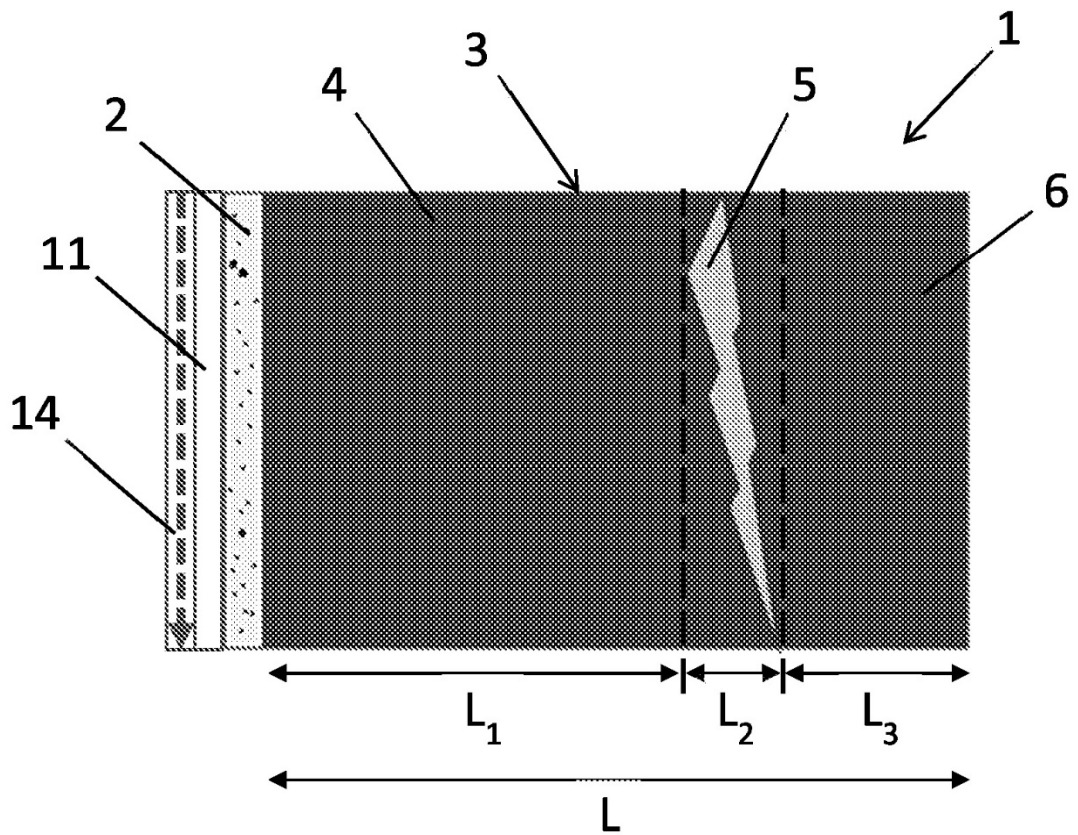


Fig. 3b

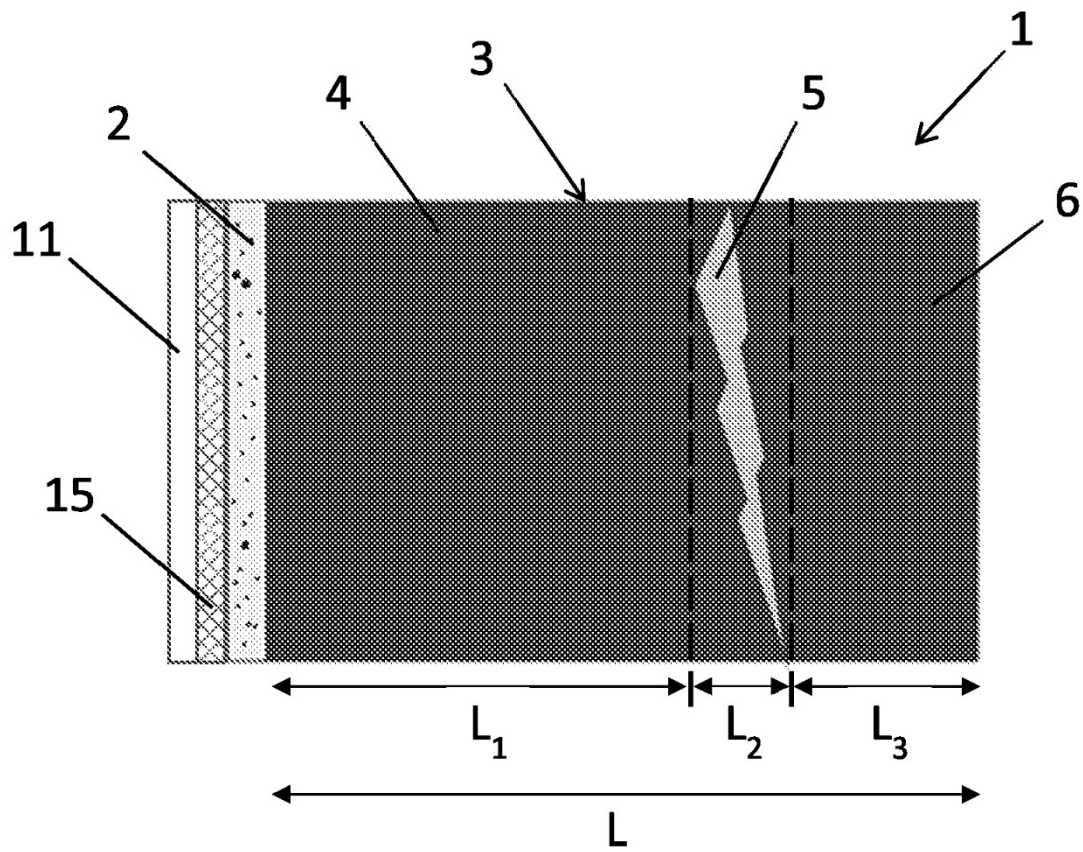


Fig. 3c

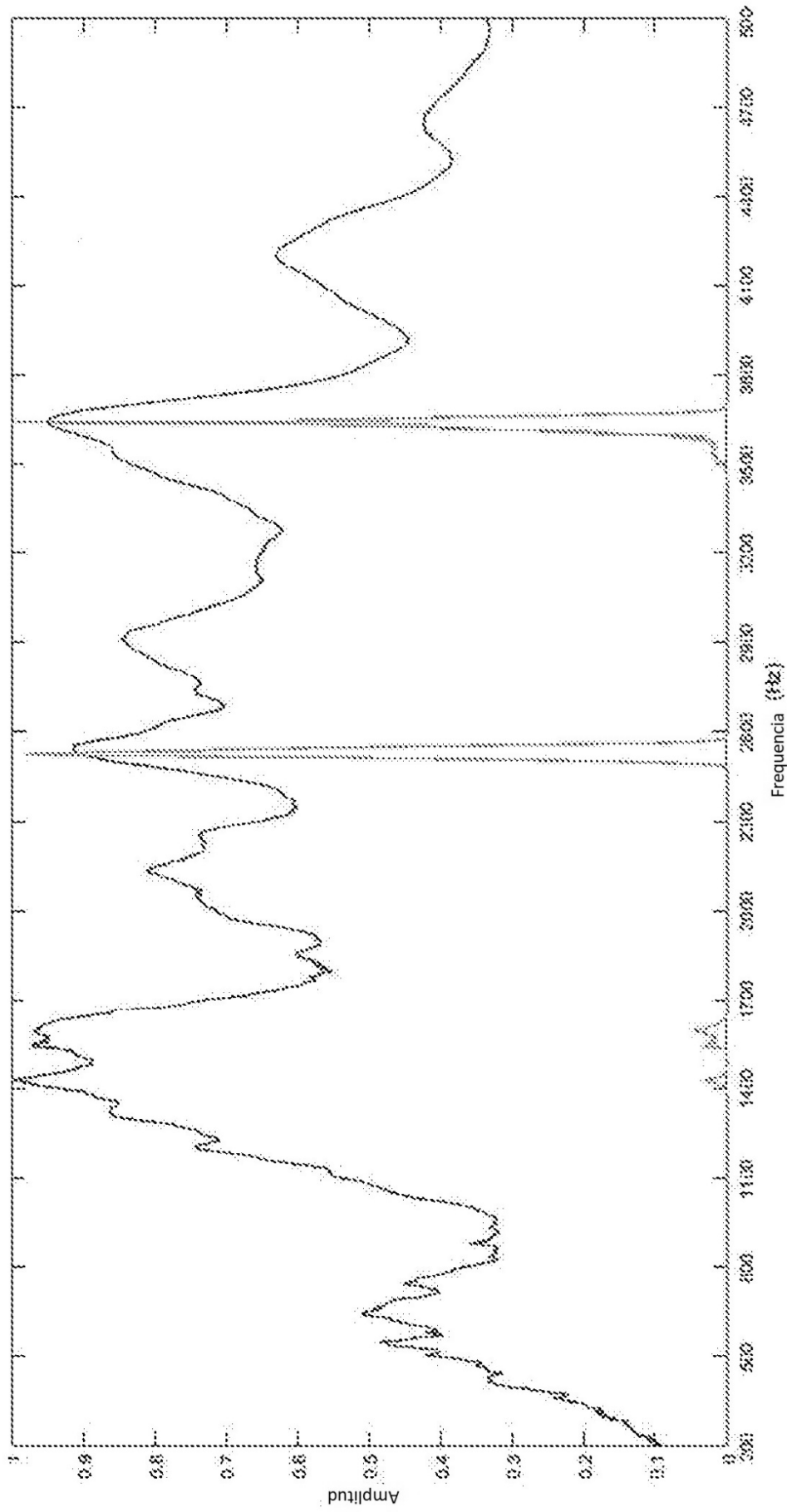


Fig. 4