

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 994 925**

51 Int. Cl.:

G01N 21/3563 (2014.01)

G01N 21/85 (2006.01)

G01J 3/14 (2006.01)

G01J 3/28 (2006.01)

G01N 33/205 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.05.2015** **PCT/IB2015/053453**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.11.2016** **WO16181185**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.05.2015** **E 15729935 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2024** **EP 3295154**

54 Título: **Procedimiento para determinar una composición química de una porción de escoria**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
04.02.2025

73 Titular/es:

ARCELORMITTAL (100.00%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU

72 Inventor/es:

VICENTE ROJO, ASIER;
PICON RUIZ, ARTZAI y
RODRIGUEZ VAAMONDE, SERGIO

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 2 994 925 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

Procedimiento para determinar una composición química de una porción de escoria

5 **[0001]** La presente invención se refiere a un procedimiento de determinación de una composición química de una porción de escoria. La invención también se refiere a una instalación para determinar dicha composición química y a un procedimiento de fabricación de acero.

10 **[0002]** El acero se puede producir a través de dos rutas diferentes.

[0003] La primera ruta comprende la producción de arrabio dentro de un alto horno y la transformación de este arrabio en acero bruto en un convertidor de oxígeno u horno de oxígeno básico (BOF). La segunda ruta consiste en fundir chatarra en un horno de arco eléctrico (EAF) para producir directamente acero crudo. Después de cualquiera de estas rutas, a continuación, el acero crudo se refina para obtener la composición química requerida del acero, esta etapa de refinado se realiza en un horno de cuchara (LF).

[0004] Según la primera ruta, el arrabio proveniente del alto horno se vierte en un convertidor de oxígeno, que posiblemente comprende desechos. El oxígeno se sopla en el convertidor para permitir la descarburación del arrabio y su transformación en acero líquido. También se añaden aditivos minerales, como cal y dolomita, en el convertidor. La transformación del arrabio consiste en reacciones de oxidación rápida inducidas por el contacto entre el oxígeno gaseoso y el metal fundido, en condiciones que están muy lejos del equilibrio termodinámico con los otros elementos químicos presentes, por ejemplo, manganeso, silicio o fósforo. Dichos óxidos producidos, junto con los aditivos minerales añadidos, contribuyen a la formación de una escoria líquida, que flota en la superficie del baño metálico debido a su menor densidad. Para una purificación eficiente del metal, los coeficientes de reparto de equilibrio de los diversos elementos (fósforo, azufre, etc.) entre la escoria y el metal deben ser lo más altos posible, correspondiendo, por ejemplo, a los valores máximos para las relaciones: $LP = \% \text{Pescoria} / \% \text{Pacero}$ y $LS = \% \text{Sescoria} / \% \text{Sacero}$. La determinación de la composición química de la escoria permite producir acero bruto de calidad.

[0005] Según la segunda ruta, los desechos metálicos se cargan en un horno y se funden. La energía necesaria para fundir dichos desechos sólidos es proporcionada principalmente por arcos eléctricos producidos entre uno o varios electrodos de grafito y la carga metálica. Las reacciones de refinado son bastante similares a las del convertidor de oxígeno. La oxidación de los elementos no deseados se obtiene por impurezas oxidadas en la carga, por oxígeno puro inyectado a través de lanzas o a través de boquillas en el horno, o por oxígeno atmosférico que entra a través de los orificios del horno. Las impurezas oxidadas forman la escoria.

[0006] El acero crudo producido por una de las rutas anteriores se vierte en una cuchara para ajustar la composición química del acero. Se ajusta la calidad analítica del metal líquido, incluido el recorte de la composición, no solo de los elementos de aleación metálicos, sino también el control de los metaloides (C, H, N, O, P, S), en diferentes grados según el grado. El tipo y contenido de las inclusiones de óxido se controla, mediante desoxidación (o "destrucción") del acero, generalmente con aluminio para aceros laminados, mediante tratamiento con calcio para modificar su composición y mediante flotación controlada. Se añaden diferentes aditivos, tales como cal, dolomita, fluorita y/o diversos fundentes en el horno de cuchara para realizar dichos tratamientos.

[0007] Como se explicó anteriormente, las impurezas producidas forman una escoria que flota en la superficie del metal fundido. Dependiendo de la composición de la escoria, se añaden aditivos para eliminar las impurezas restantes. Por lo tanto, el conocimiento de la composición de la escoria es de primordial importancia para controlar la calidad del acero refinado.

[0008] En el procedimiento EAF, el conocimiento de la composición química de la escoria permite conocer su basicidad y oxidación. Sin embargo, la composición química de la escoria no se conoce durante el procedimiento. Las muestras se analizan utilizando espectrómetros después de completar el procedimiento.

[0009] Durante el procedimiento de LF, el grado de desoxidación y desulfuración del acero también se estima según la evaluación visual de las muestras de escoria y de la composición química del acero. El aspecto visual de la escoria enfriada todavía se utiliza durante el procedimiento. Por lo tanto, la adición de ferroaleaciones y otros aditivos al lote todavía tiene un componente humano debido a la experiencia y la subjetividad de los trabajadores. Con ese fin, se utilizan espectroscopios después de que se completa el procedimiento. Esto requiere tiempo adicional para que las muestras estén preparadas.

60 **[0010]** En ambos casos, esto tiene un impacto en el control del procedimiento, con consecuencias perjudiciales en la cantidad de residuos, la productividad y los costes de producción.

[0011] El documento "Automatic slag characterization based on hyperspectral image processing", SERGIO RODRIGUEZ Y COL. en EMERGING TECHNOLOGIES AND FACTORY AUTOMATION (ETFA), 2010 IEEE CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, EE. UU., 13 de septiembre de 2010, páginas 1-4, DOI: 10,1

109/ETFA.2010.5641225; ISBN: 978-1-4244-6848-5 enseña un procedimiento que utiliza imágenes hiperespectrales para clasificar la composición de una muestra de escoria frente a un número limitado de clases de composición.

5 **[0012]** Un objetivo de la invención es proporcionar un procedimiento para determinar una composición química de una porción de escoria que resuelva o reduzca al menos algunos de los problemas mencionados anteriormente, en particular que mejore la productividad del proceso de fabricación y siga siendo fácil de implementar.

[0013] Con este fin, la invención propone un procedimiento según la reivindicación 1.

10 **[0014]** En otras realizaciones, el procedimiento comprende una o varias de las características correspondientes a las reivindicaciones 2 a 7.

[0015] La invención se refiere también a un procedimiento según la reivindicación 8.

15 **[0016]** La invención se refiere también a una instalación según la reivindicación 9.

[0017] En otras realizaciones, la instalación comprende una o varias de las características correspondientes a la reivindicación 10 y de las siguientes características tomadas de forma aislada o en cualquier combinación técnica factible:

- 20
- el sensor está adaptado para recoger luz solo de un segmento de la superficie a la vez, y donde la instalación incluye además un dispositivo adecuado para mover la porción de escoria y el sistema óptico entre sí para recoger luz de otro segmento de la superficie; y
 - el sistema óptico comprende al menos un espectrógrafo adaptado para separar cada parte de la luz recogida según la pluralidad de longitudes de onda.
- 25

[0018] Otras características y ventajas de la invención aparecerán al leer la siguiente descripción, dada a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos, donde:

- 30
- La Fig. 1 es una vista esquemática de una instalación para realizar las etapas de un procedimiento según la invención, en particular para recoger luz,
 - La Fig. 2 es una vista esquemática de la matriz tridimensional definida por el procedimiento que utiliza la luz recogida por la instalación que se muestra en la Fig. 1, y
 - La Fig. 3 es un diagrama que muestra las etapas principales del procedimiento.
- 35

[0019] Con referencia a la Fig. 1, se describe una instalación 1 que realiza las etapas de un procedimiento según la invención. La instalación 1 está adaptada para tratar en línea con una porción de escoria 5.

40 **[0020]** La instalación 1 comprende una fuente de luz 7, un sistema óptico 10 adaptado para recoger la luz L de la porción de escoria 5, dos elementos estándar de referencia 12A, 12B ubicados junto a la porción de escoria 5 y, opcionalmente, un dispositivo de desplazamiento (no representado) adecuado para mover el sistema óptico con respecto a la porción de escoria.

45 **[0021]** La porción de escoria 5 es, por ejemplo, una muestra tomada de un horno de arco eléctrico (EAF, no representado) o de un horno de cuchara (LF, no representado).

[0022] La porción de escoria 5 tiene una composición química a determinar.

50 **[0023]** El aspecto físico de la escoria (color y espesor) está relacionado con su composición química. Por ejemplo, los óxidos tales como FeO o MnO dan un aspecto más oscuro a la escoria, mientras que los óxidos tales como CaO o MgO aumentan el espesor de la escoria.

55 **[0024]** La porción de escoria 5 tiene una superficie superior S que se extiende a lo largo de dos ejes X, Y que son, por ejemplo, sustancialmente perpendiculares entre sí. Un tercer eje Z también se define como el eje perpendicular tanto al eje X como al eje Y.

[0025] La superficie S es, por ejemplo, horizontal.

60 **[0026]** La composición química se define, por ejemplo, por las fracciones de masa respectivas de uno o varios compuestos tomados de: CaO, SiO₂, MgO, Al₂O₃, S, Fe₂O₃, FeO, F, MnO, TiO₂, Na₂O, Cr₂O₃, Cl, BaO, SrO, P₂O₅, K₂O, ZrO₂, ZnO, CuO.

65 **[0027]** La fuente de luz 7 está adaptada para enviar un haz de luz Li hacia la porción de escoria 5. La fuente de luz 7, por ejemplo, incluye LED (diodos emisores de luz) y/o una bombilla halógena.

[0028] Los dos elementos estándar de referencia 12A, 12B están ubicados, por ejemplo, a ambos lados de la porción de escoria 5 a lo largo del eje X, ventajosamente al mismo nivel que la superficie S a lo largo del eje Z. Los elementos estándar de referencia 12A, 12B comprenden, por ejemplo, acero inoxidable en una fracción de masa de al menos el 95 %, por ejemplo, AISI 310, con "AISI" que significa "American Iron and Steel Institute (Instituto Americano del Hierro y el Acero)".

[0029] Como variante (no representada), se utiliza un número diferente de elementos estándar de referencia. Por ejemplo, hay uno solo, tal como el elemento estándar de referencia 12A.

10 **[0030]** El dispositivo de desplazamiento está adaptado para mover el sistema óptico 10 con respecto a la superficie S, por ejemplo, a lo largo del eje Y.

[0031] El sistema óptico 10 es adecuado para recibir partes L_M de la luz L desde una pluralidad de puntos M, de los cuales solo uno está representado en la Fig. 1. El sistema óptico 10 incluye al menos un sensor CCD o CMOS 15 25, al menos un espectrógrafo 20 y al menos una lente óptica 15. La pluralidad de puntos M están ubicados principalmente en la superficie S y en los elementos estándar de referencia 12A, 12B. Los puntos M están ventajosamente separados regularmente entre sí. La distancia entre dos puntos M está, por ejemplo, comprendida entre 0,3 y 1 mm, por ejemplo, 0,5 mm.

20 **[0032]** Cada punto M se identifica, por ejemplo, mediante una primera coordenada espacial $\underline{x}$ a lo largo del eje X tomada de una primera pluralidad de coordenadas espaciales $x_1, x_2, \dots$, y mediante una segunda coordenada espacial $\underline{y}$ a lo largo del eje Y tomada de una segunda pluralidad de coordenadas espaciales $y_1, y_2, \dots$. En otras palabras, la primera pluralidad de coordenadas espaciales $x_1, x_2, \dots$ y la segunda pluralidad de coordenadas espaciales $y_1, y_2, \dots$ son representativas de la pluralidad de puntos M.

25 **[0033]** La luz L es, por ejemplo, luz que es reflejada por la superficie S a lo largo del eje Z. La superficie S es iluminada por la fuente de luz 7. En otras realizaciones (no representadas), la luz L se conduce por medio de uno o múltiples cables de fibra óptica.

30 **[0034]** El segmento 27 es ventajosamente en gran medida paralelo al eje X. El segmento 27 incluye los puntos M con una misma segunda coordenada espacial $\underline{y}$ dada, por ejemplo, y_1 como se muestra en la Figura 1. Debido al movimiento opcional del sistema óptico 10 a lo largo del eje Y, el sensor 25 es adecuado para escanear segmentos sucesivos paralelos al segmento 27 para cubrir ventajosamente toda la superficie S.

35 **[0035]** El espectrógrafo 20 es, por ejemplo, un espectrógrafo de imágenes Specim V10_04204. El espectrógrafo 20 es capaz de separar las partes L_M de la luz procedente del punto M según las longitudes de onda representadas por una pluralidad de parámetros espectrales $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ para obtener partes $L_{M,\lambda_1}, L_{M,\lambda_2}, \dots$ que impactan en el sensor 25. Ventajosamente, el espectrógrafo 20 es capaz de separar la luz L que proviene de todo el segmento 27 para obtener directamente las partes $L_{\lambda_1}, L_{\lambda_2}, \dots$ que impactan en el sensor 25.

40 **[0036]** Cada parte $L_{M,\lambda}$ es una parte de la luz L_M recogida de uno de los puntos M a una longitud de onda dada representada por el parámetro espectral λ .

45 **[0037]** Cada parte L_λ es una parte de la luz L recogida de todo el segmento 27 a una longitud de onda dada representada por el parámetro espectral λ . Cada parte L_λ contiene las partes $L_{M,\lambda}$ procedentes de los puntos M que pertenecen al segmento 27.

[0038] El parámetro espectral λ es la longitud de onda en sí misma en el ejemplo descrito.

50 **[0039]** La pluralidad de parámetros espectrales $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ es representativa de una pluralidad de longitudes de onda que se utilizan para determinar la composición química.

[0040] Ventajosamente, la pluralidad de parámetros espectrales $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ es representativa de longitudes de onda que varían entre 399 nm y 965 nm. Por ejemplo, la pluralidad de parámetros espectrales $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ es 55 representativa de longitudes de onda que están todas comprendidas entre 399 nm y 965 nm.

[0041] Ventajosamente, la pluralidad de parámetros espectrales $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ está separada regularmente y comprende 1024 parámetros espectrales, por ejemplo.

60 **[0042]** En otras realizaciones (no representadas), se utilizan otros dispositivos de captura que no sean una cámara CCD JAI-TM-1327GE y un espectrógrafo de imágenes Specim V10_04204.

[0043] En otras realizaciones (no representadas) se utilizan otras cámaras hiperespectrales, como los espectrógrafos HySpex o HeadWallPhotonics, en lugar de los mencionados anteriormente.

65

[0044] El sensor 25 está adaptado para capturar la luz L.

[0045] El sensor 25 es un sensor CCD o CMOS. El sensor 25 es un sensor 2D (bidimensional), por ejemplo, un sensor CMOS IMX174LLJ.

5

[0046] El sensor 25 está adaptado para recibir las partes $L_{M,\lambda}$ de la luz L y para proporcionar valores $I_{x,y,\lambda}$ representativos de una intensidad de las partes $L_{M,\lambda}$.

[0047] En el ejemplo, el sensor 25 está adaptado para generar un bloque de datos B(y1) (Figura 2) utilizando las partes L_λ obtenidas de la luz procedente del segmento 27 correspondiente a los puntos M que tienen una segunda coordenada espacial igual a y1. El sensor 25 es capaz de generar bloques B(y2),... correspondientes a segmentos definidos por los puntos M que tienen respectivamente una segunda coordenada espacial igual a y2. En conjunto, los bloques de datos B(y) proporcionan los valores $I_{x,y,\lambda}$.

[0048] Los valores $I_{x,y,\lambda}$ forman una matriz tridimensional (3D) $\Lambda_{x,y,\lambda}$ (Fig. 2), donde $\underline{x}$ es una de la primera pluralidad de coordenadas espaciales $x_1, x_2, \dots$, y es una de la segunda pluralidad de coordenadas espaciales $y_1, y_2, \dots$, y λ es uno de la pluralidad de parámetros espectrales $\lambda_1, \lambda_2, \dots$. Cada valor $I_{x,y,\lambda}$ de la matriz $\Lambda_{x,y,\lambda}$ es, por ejemplo, un valor de escala de grises.

[0049] Como variante, solo la luz procedente del segmento 27 es utilizada por el sensor 25. En la matriz $\Lambda_{x,y,\lambda}$, las coordenadas del espacio $\underline{y}$, por ejemplo, simplemente se eliminan. En esta variante, la matriz es una matriz bidimensional $\Lambda_{x,\lambda}$.

[0050] La matriz $\Lambda_{x,y,\lambda}$ generalmente se conoce como una «imagen hiperespectral», que incorpora varias imágenes $\Lambda_{x,y}$ tomadas en varias longitudes de onda representadas por los parámetros espectrales $\lambda_1, \lambda_2, \dots$.

[0051] La instalación 1 también comprende al menos un ordenador (no representado) adecuado para el uso de la matriz $\Lambda_{x,y,\lambda}$ con el fin de determinar la composición química de la porción de escoria 5.

[0052] Con referencia a las Fig. 1 a 3, se describirá ahora un procedimiento 100 según la invención. El procedimiento 100 tiene como objetivo determinar la composición química de la porción de escoria 5.

[0053] El procedimiento 100 está destinado, por ejemplo, a ser parte de un procedimiento de producción de acero donde la composición química de la porción de escoria 5 se determina para calcular las cantidades de aditivos que se agregarán en el acero durante el procedimiento.

[0054] De hecho, según la composición química de la porción de escoria 5, es posible estimar la composición química del acero, y si esta composición es diferente de la composición final objetivo, se pueden tomar las medidas necesarias, como la inyección de aditivos en el acero.

40

[0055] El procedimiento (100) comprende una etapa (110) de proporcionar un conjunto de datos en forma de una matriz tridimensional $\Lambda_{x,y,\lambda}$, es decir, la imagen hiperespectral, una etapa (120) de acondicionamiento de la matriz con el fin de obtener una matriz acondicionada, y una etapa (130) de realizar un algoritmo matemático utilizando la matriz acondicionada con el fin de obtener la composición química.

45

[0056] De manera ventajosa, el procedimiento 100 comprende además una etapa 104 de calibración para proporcionar valores útiles para la etapa 120 de acondicionamiento, y una etapa 106 de entrenamiento para determinar los parámetros que se utilizan en la etapa 120 de acondicionamiento y la etapa 130 de rendimiento del algoritmo,

[0057] La etapa 110 de proporcionar la matriz $\Lambda_{x,y,\lambda}$ incluye una subetapa de proporcionar la porción de escoria 5, una subetapa de recoger la luz L reflejada desde la superficie S usando el sistema óptico 10, y una subetapa de obtener un conjunto de datos de la luz recogida L, y el conjunto de datos define al menos la matriz $\Lambda_{x,y,\lambda}$.

[0058] En el ejemplo, el conjunto de datos que se obtiene es la propia matriz $\Lambda_{x,y,\lambda}$. Como se explicó anteriormente, el sistema óptico 10 se mueve a lo largo del eje Y con respecto a la superficie S para escanear segmentos sucesivos de la superficie. Para cada segmento, el sistema óptico 10 proporciona un bloque de datos B(y). Los bloques de datos B(y) forman en conjunto la matriz $\Lambda_{x,y,\lambda}$.

[0059] En realizaciones particulares (no representadas) donde la luz de un solo segmento es utilizada por el sistema óptico 10, el sistema óptico no se mueve con respecto a la superficie S.

60

[0060] La etapa 120 de acondicionamiento incluye una subetapa de segmentación de la matriz $\Lambda_{x,y,\lambda}$, una subetapa de normalización de cada valor $I_{x,y,\lambda}$ en la matriz, una subetapa de suavizado espacial de los valores para obtener una firma espectral $I_{sig,\lambda}$ y una subetapa de reducción de tamaño de la firma espectral $I_{sig,\lambda}$.

[0061] En la subetapa de segmentación, se analizan los valores $I_{x,y,\lambda}$ de la matriz $\Lambda_{x,y,\lambda}$ para determinar si los puntos correspondientes M pertenecen a la porción de escoria 5. Solo los valores $I_{x,y,\lambda}$ correspondientes a los puntos M que pertenecen a la porción de escoria 5 se mantienen en la matriz.

[0062] Los valores $I_{x,y,\lambda}$ se analizan, por ejemplo, desde $x=0$ hasta el ancho de la imagen hiperespectral, es decir, el valor máximo de las primeras coordenadas espaciales x , para detectar transiciones abruptas de valores negros a valores blancos, y viceversa. Esto se hace para cada segunda coordenada espacial y . Ventajosamente, se calcula una derivada de la matriz $\Lambda_{x,y,\lambda}$ en una sola longitud de onda λ y se buscan valores mayores que un umbral predeterminado. Esto permite detectar bordes de la porción de escoria 5 en la imagen hiperespectral.

[0063] La subetapa de normalización proporciona valores normalizados $Inorm_{x,y,\lambda}$ que están libres de una influencia de una iluminación externa de la porción de escoria 5 durante la etapa de recolección de la luz reflejada L. Estos valores $Inorm_{x,y,\lambda}$ forman una matriz $Anorm$.

[0064] La normalización se realiza, por ejemplo, restando un valor de referencia oscuro D (para "oscuro") y corrigiendo un valor de referencia blanco W (para "blanco") según la siguiente fórmula o cualquier equivalente:

$$Inorm_{x,y,\lambda} = \frac{I_{x,y,\lambda} - D}{W - D}$$

[0065] Estas referencias D oscura y W blanca se pueden obtener en una etapa de calibración 104.

[0066] Esta etapa de calibración 104 incluye una subetapa de adquisición periódica de un conjunto de valor de referencia oscuro D y valor de referencia blanco W. El valor de referencia oscuro D se obtiene de una imagen capturada cuando la lente óptica está cubierta. El valor de referencia blanco W se obtiene a partir de una imagen capturada de los elementos estándar de referencia 12A, 12B que se encuentran en posiciones conocidas en las coordenadas X12A y X12B. Se utiliza un algoritmo de segmentación similar al descrito anteriormente para la ubicación precisa de los elementos estándar de referencia 12A y 12B.

[0067] Esta etapa de calibración se puede realizar una vez al comienzo de la campaña de fabricación de acero o, en una realización preferida, se puede realizar regularmente para actualizar los valores de referencia.

[0068] La etapa de normalización que utiliza esta fórmula permite corregir la imagen hiperespectral para que el impacto del sistema de iluminación no sea uniforme en intensidad a lo largo de diferentes posiciones x y/o entre el tiempo o para modificaciones en la respuesta espectral de la iluminación ambiental que afectan a la luz recibida por el sensor 25.

[0069] La subetapa de suavizado espacial se adapta para proporcionar la firma espectral $Isig_{\lambda}$ utilizando los valores normalizados $Inorm_{x,y,\lambda}$. La firma espectral $Isig_{\lambda}$ es una representación espectral más precisa de la porción de escoria 5, ya que integra el ruido y las desviaciones de adquisición dentro de la muestra.

[0070] Se aplica una técnica de alisado espacial a la porción de escoria 5 dentro de la matriz $Anorm$. Esta técnica es un cálculo de una media espacial en cada longitud de onda sobre toda la porción de escoria 5. El resultado es una firma espectral única $Isig_{\lambda}$ calculada mediante la siguiente fórmula:

$$Isig_{\lambda} = \frac{1}{(N_{max_x} - N_{min_x}) + N_y} \sum_{i=N_{min_x}}^{N_{max_x}} \sum_{j=0}^{N_y} Inorm_{x,y,\lambda}(x = i, y = j)$$

donde:

N_y es el espacio total en el eje Y escaneado por el sistema, y

N_{max_x}, N_{min_x} delimitan la porción de escoria 5 a lo largo del eje X, y se calculan durante la subetapa de segmentación de la matriz $\Lambda_{x,y,\lambda}$.

[0071] Al comienzo de la subetapa de reducción de tamaño, la firma espectral $Isig_{\lambda}$ se puede completar ventajosamente con parámetros adicionales, por ejemplo, relación o resta derivada de la pluralidad de parámetros espectrales $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ para obtener un conjunto completado de valores I_{comp} .

[0072] En el ejemplo, la pluralidad de parámetros espectrales λ_1, λ_2 , representa 1024 longitudes de onda. Sin embargo, debido al efecto Hugues, es deseable reducir la dimensionalidad a un subconjunto de parámetros espectrales $\Omega(\lambda)$ de unos pocos cientos de longitudes de onda. Ventajosamente, el subconjunto de parámetros

espectrales $\Omega(\lambda)$ a mantener se determina durante una subetapa de la etapa de entrenamiento 106, como se describe a continuación. También se puede determinar mediante el uso de ábaco o cualquier procedimiento adaptado.

5 [0073] La etapa de entrenamiento 106 comprende una subetapa de proporcionar un conjunto de datos de valores de lcomp adquiridos para una pluralidad de muestras de escoria de composiciones conocidas, y dos subetapas independientes 106A y 106B. La subetapa 106A tiene como objetivo proporcionar el subconjunto de parámetros espectrales $\Omega(\lambda)$ que se mantendrá en la etapa de reducción de tamaño. La subetapa 106B tiene como objetivo proporcionar parámetros para la etapa de rendimiento del algoritmo 130, que se describirá más adelante.

10 [0074] La subetapa 106A utiliza, por ejemplo, una técnica de eliminación de características recursiva donde, con el fin de elegir los valores relevantes, se eliminan algunos elementos del conjunto completo de valores lcomp. Un parámetro de rendimiento del algoritmo de regresión se calcula, por ejemplo, como la correlación máxima existente entre la salida del procedimiento según la invención y la composición química de la porción de escoria 5 que se obtiene, por ejemplo, a partir de un subconjunto del conjunto de datos de entrenamiento. El subconjunto del conjunto de datos
15 de entrenamiento que alcanza la correlación más alta define el subconjunto de parámetros espectrales $\Omega(\lambda)$ que se mantendrá en la etapa de reducción de tamaño.

[0075] A continuación, se selecciona un subconjunto de valores del conjunto de valores completado lcomp según la etapa de entrenamiento 106 y los valores no seleccionados se eliminan de la firma. Los valores del
20 subconjunto seleccionado están indexados por el subconjunto de parámetros espectrales $\Omega(\lambda)$ seleccionados de la pluralidad de parámetros espectrales $\lambda_1, \lambda_2, \dots$, siendo dicho subconjunto de parámetros espectrales $\Omega(\lambda)$ menor que la pluralidad de parámetros espectrales. Esto permite reducir el tamaño de lcomp para obtener un conjunto reducido de valores lred.

25 [0076] La etapa 130 de realizar un algoritmo matemático comprende una subetapa de normalización de datos y una subetapa de regresión.

[0077] La subetapa de normalización de datos normaliza el conjunto reducido de valores lred en un intervalo numérico predefinido. Esta subetapa transforma los valores medidos en diferentes escalas en una escala teóricamente
30 común. Puede basarse, por ejemplo, en la resta de un valor mínimo del conjunto de datos y en la división por el valor máximo del mismo conjunto de datos.

[0078] La etapa de regresión lo realiza un regresor que mapea matemáticamente el conjunto de valores con los valores estimados de la composición química. La subetapa de la regresión se basa, por ejemplo, en un modelo de
35 máquina de vectores de soporte (SVM). La SVM comprende dos parámetros diferentes ω (vectores de soporte) y b (compensaciones) que se determinan en la subetapa 106B de la etapa de entrenamiento 140. Dichos parámetros son conocidos por el experto en la materia.

[0079] La composición química se obtiene, por ejemplo, multiplicando el conjunto reducido de valores lred por
40 el vector ω y sumando los valores b. Esto da un número que es representativo de la composición química.

[0080] Como se explicó anteriormente, la etapa de entrenamiento 106 comprende una subetapa de proporcionar un conjunto de datos de valores de lcomp adquiridos para una pluralidad de muestras de escoria de composiciones conocidas, y dos subetapas independientes 106A y 106B. La subetapa 106A de proporcionar el
45 subconjunto de parámetros espectrales $\Omega(\lambda)$ que se mantendrá en la etapa de reducción de tamaño se ha descrito previamente.

[0081] La etapa 106B establece los parámetros regresores para cada compuesto de escoria para la etapa 130, por ejemplo, ω y b.

50 [0082] Esta subetapa 106B se basa en un procedimiento estándar para la capacitación de SMV.

Pruebas

55 [0083] Esta sección incluye las pruebas de validación que se realizaron. El conjunto de datos de entrenamiento compuesto por escoria LF de composición conocida se divide, por ejemplo, en dos subconjuntos donde el primero se utiliza para calcular los parámetros del regresor y el segundo se utiliza para estimar el error y la precisión del sistema. El error se obtiene como la diferencia entre los valores de composición obtenidos con un procedimiento según la invención y el valor de composición real. Los valores de la composición se expresan como un porcentaje.

60 [0084] Los valores de error dados en este informe son:

$$\bar{e}_{100} = \frac{\bar{e}}{M - m} \times 100$$

$$s_{100} = \frac{s}{M - m} \times 100$$

[0085] Estos valores muestran el error medio y su desviación estándar, ambos dados como porcentaje, donde:

- 5 $\bar{e}$ es el error absoluto promedio
 s es la desviación típica del error absoluto
 M es el valor máximo de los valores de entrada del conjunto de datos de entrenamiento
 m es el valor mínimo de los valores de entrada del conjunto de datos de entrenamiento

- 10 **[0086]** La siguiente tabla resume los resultados obtenidos con las muestras de escoria utilizando la invención frente al análisis de laboratorio de las mismas muestras de escoria realizadas utilizando XRF (fluorescencia de rayos X) mediante la técnica Perl.

Tabla 1: Resultados de error y desviación estándar.

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S	Fe ₂ O ₃	MnO
Valor máximo de entrenamiento M	75,61	33,07	8,87	2,80	9,84	10,02
Valor mínimo de entrenamiento m	37,09	10,94	0,43	0,13	0,45	0,10
Error absoluto medio (Composición)	2,11	1,51	0,68	0,25	0,34	0,46
Desviación estándar s (Composición)	2,00	1,68	0,81	0,22	0,51	0,71
Error medio (%)	5,47 %	6,81 %	8,05 %	9,54 %	3,61 %	4,63 %
Desviación estándar (%)	5,19 %	7,61 %	9,55 %	8,14 %	5,39 %	7,16 %

- 15 **[0087]** Dependiendo del elemento, la desviación estándar relativa entre las composiciones obtenidas con la invención y la técnica conocida de XRF varía entre el 5 % y el 10 %. Este error asegura suficiente precisión en la composición durante el proceso de producción para realizar una evaluación rápida del estado físico de la escoria, a fin de definir la estrategia de tratamiento del acero para llegar a la etapa final del procedimiento al menor coste.

- 20 **[0088]** Gracias a las características descritas anteriormente, el procedimiento es rápido y no interrumpe el proceso de producción de acero.

- [0089]** El procedimiento permite predecir las cantidades de aditivos que se añadirán al acero durante la
 25 producción con el fin de obtener una composición química predeterminada del acero.

[0090] El procedimiento proporciona una composición química precisa en dos o tres segundos, mientras que los procedimientos de la técnica anterior requieren enviar muestras a un laboratorio para su análisis.

- 30 **[0091]** Con el fin de optimizar el procedimiento de la cuchara según la información de escorias, el sistema analizador de escorias comunica y recibe datos de la planta, por lo que se conoce en todo momento la evolución del tratamiento de la cuchara (composición del acero, pesos de acero y escorias, aditivos, temperatura...). Estos datos, junto con la información sobre la composición de la escoria extraída, permiten realizar un análisis del balance de masas global en cualquier punto, de modo que los cálculos de equilibrio termodinámico podrían realizarse utilizando cualquier
 35 software de cálculo termodinámico específico y la composición final del acero y la escoria podría elaborarse en condiciones de equilibrio.

- [0092]** Además, en el cálculo se puede introducir información sobre los diversos aditivos de ferroaleaciones y fundentes utilizados en el horno de cuchara, incluidos los precios, ya que el sistema puede establecerlos fácilmente.
 40 Por lo tanto, se podría realizar un análisis completo del procedimiento en el horno de cuchara.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento (100) de determinación de una composición química de una porción de escoria (5), comprendiendo el procedimiento las etapas de:

- proporcionar la porción de escoria (5), la porción de escoria (5) que tiene una superficie (S),
 - recoger la luz (L) reflejada desde la (S) superficie (S) utilizando un sistema óptico (10),
 - obtener un conjunto de datos de la luz recogida (L), definiendo el conjunto de datos al menos una matriz (Λ) que contiene valores representativos de una intensidad de una parte ($L_{M,\lambda}$) de la luz recogida (L), recogándose cada parte ($L_{M,\lambda}$) respectivamente de uno de una pluralidad de puntos (M) en una de una pluralidad de longitudes de onda, indexándose la matriz (Λ) al menos por:

- una pluralidad de coordenadas espaciales ($x_1, x_2, \dots$) de la pluralidad de puntos (M), y
 - una pluralidad de parámetros espectrales ($\lambda_1, \lambda_2, \dots$) representativos de la pluralidad de longitudes de onda,

- acondicionar (120) la matriz con el fin de obtener un conjunto reducido de valores, y
 - realizar (130) un algoritmo matemático utilizando el conjunto reducido de valores para obtener la composición química,
 donde la etapa de obtener un conjunto de datos incluye las siguientes subetapas:

- proporcionar valores de escala de grises representativos de una intensidad de las partes ($L_{M,\lambda}$) y
 - obtener los valores ($I_{x,y,\lambda}$) contenidos en la matriz utilizando dichos valores de la escala de grises

donde la etapa de acondicionamiento (120) incluye las siguientes subetapas:

- normalizar cada valor en la matriz con el fin de obtener valores normalizados adaptados para estar libres de una influencia de una iluminación externa de la porción de escoria (5) durante la etapa de recogida de la luz reflejada (L),
 - segmentar la matriz, donde al menos algunos de los valores de la matriz se analizan para determinar si los puntos correspondientes (M) pertenecen a la porción de escoria, y donde solo los valores de la matriz correspondientes a los puntos (M) que pertenecen a la porción de escoria (5) se mantienen en la matriz,
 - suavizar espacialmente los valores normalizados con el fin de obtener una firma espectral de la parte de escoria (5), y
 - reducir el tamaño de la firma espectral seleccionando un subconjunto de valores en la firma espectral para obtener el conjunto reducido de valores, el subconjunto seleccionado se indexa por un subconjunto de parámetros espectrales ($\Omega(\lambda)$) seleccionados de la pluralidad de parámetros espectrales ($\lambda_1, \lambda_2, \dots$),

donde el suavizado espacial es un cálculo de una media espacial en cada longitud de onda sobre toda la porción de escoria (5).

2. El procedimiento (100) según la reivindicación 1, donde la pluralidad de parámetros espectrales ($\lambda_1, \lambda_2, \dots$) comprende parámetros espectrales que son representativos de longitudes de onda que varían de 200 nm a 20000 nm, preferentemente de 399 nm a 965 nm.

3. El procedimiento (100) según la reivindicación 2, donde la pluralidad de parámetros espectrales ($\lambda_1, \lambda_2, \dots$) es representativa de longitudes de onda que están todas comprendidas entre 399 nm y 965 nm.

4. Procedimiento (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde la etapa de acondicionamiento (120) incluye una subetapa de inclusión de parámetros adicionales en la firma espectral para obtener un conjunto completo de valores, donde los parámetros adicionales se derivan de la pluralidad de parámetros espectrales ($\lambda_1, \lambda_2, \dots$).

5. Procedimiento (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde además incluye una etapa de entrenamiento (106) que comprende una subetapa (106A) de proporcionar el subconjunto de parámetros espectrales ($\Omega(\lambda)$) utilizando una eliminación de característica recursiva.

6. El procedimiento (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde la etapa de realizar (130) un algoritmo matemático comprende una subetapa de regresión, donde, preferentemente, el procedimiento (100) incluye además una etapa de entrenamiento (106) que comprende una subetapa (106B) de obtención de parámetros utilizados en la subetapa de regresión.

7. Procedimiento (100) según la reivindicación 6, donde la regresión se basa en un modelo de máquina de vectores de soporte (SVM), donde la máquina de vectores de soporte tiene preferentemente un núcleo de función de base radial.

8. Un procedimiento de fabricación de acero, que incluye:

- una etapa de definición de una composición química específica del acero,
- una etapa para determinar una composición química de una parte de una escoria producida durante el proceso de fabricación de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7,
- una etapa de estimación de una composición química del acero utilizando la composición química determinada de la porción de escoria,
- una etapa de cálculo de cantidades de aditivos utilizando la composición química estimada del acero, y
- una etapa de adición de dichos aditivos en dichas cantidades en el acero con el fin de alcanzar dicha composición química objetivo del acero.

9. Instalación para determinar una composición química de una porción de escoria (5), comprendiendo la instalación:

- un sistema óptico (10) adaptado para recoger la luz (L) reflejada desde una superficie (S) de la porción de escoria (5),
- medios para obtener un conjunto de datos de la luz recogida (L), definiendo el conjunto de datos al menos una matriz (Λ) que contiene valores representativos de una intensidad de una parte ($L_{M,\lambda}$) de la luz recogida (L), recogándose cada parte ($L_{M,\lambda}$) respectivamente de uno de una pluralidad de puntos (M) en una de una pluralidad de longitudes de onda, indexándose la matriz (Λ) al menos por:

- una pluralidad de coordenadas espaciales ($x_1, x_2, \dots$) de la pluralidad de puntos (M), y
- una pluralidad de parámetros espectrales ($\lambda_1, \lambda_2, \dots$) representativos de la pluralidad de longitudes de onda,

- medios para acondicionar (120) la matriz con el fin de obtener un conjunto reducido de valores, y
 - medios para realizar (130) un algoritmo matemático utilizando el conjunto reducido condicionado de valores con el fin de obtener la composición química,
- donde los medios para obtener un conjunto de datos están adaptados para:

- proporcionar valores de escala de grises representativos de una intensidad de las partes ($L_{M,\lambda}$) y
- obtener los valores ($I_{x,y,\lambda}$) contenidos en la matriz utilizando dichos valores de la escala de grises,

donde los medios para acondicionar (120) la matriz están adaptados para:

- normalizar cada valor en la matriz con el fin de obtener valores normalizados adaptados para estar libres de una influencia de una iluminación externa de la porción de escoria (5) durante la etapa de recogida de la luz reflejada (L),
- segmentar la matriz, donde al menos algunos de los valores de la matriz se analizan para determinar si los puntos correspondientes (M) pertenecen a la porción de escoria, y donde solo los valores de la matriz correspondientes a los puntos (M) que pertenecen a la porción de escoria (5) se mantienen en la matriz,
- suavizar espacialmente los valores normalizados con el fin de obtener una firma espectral de la parte de escoria (5), y
- reducir el tamaño de la firma espectral seleccionando un subconjunto de valores en la firma espectral para obtener el conjunto reducido de valores, el subconjunto seleccionado se indexa por un subconjunto de parámetros espectrales ($\Omega(\lambda)$) seleccionados de la pluralidad de parámetros espectrales ($\lambda_1, \lambda_2, \dots$),

donde el suavizado espacial es un cálculo de una media espacial en cada longitud de onda sobre toda la porción de escoria (5).

10. Instalación según la reivindicación 9, donde el sistema óptico (10) comprende al menos un sensor CCD o CMOS (25).

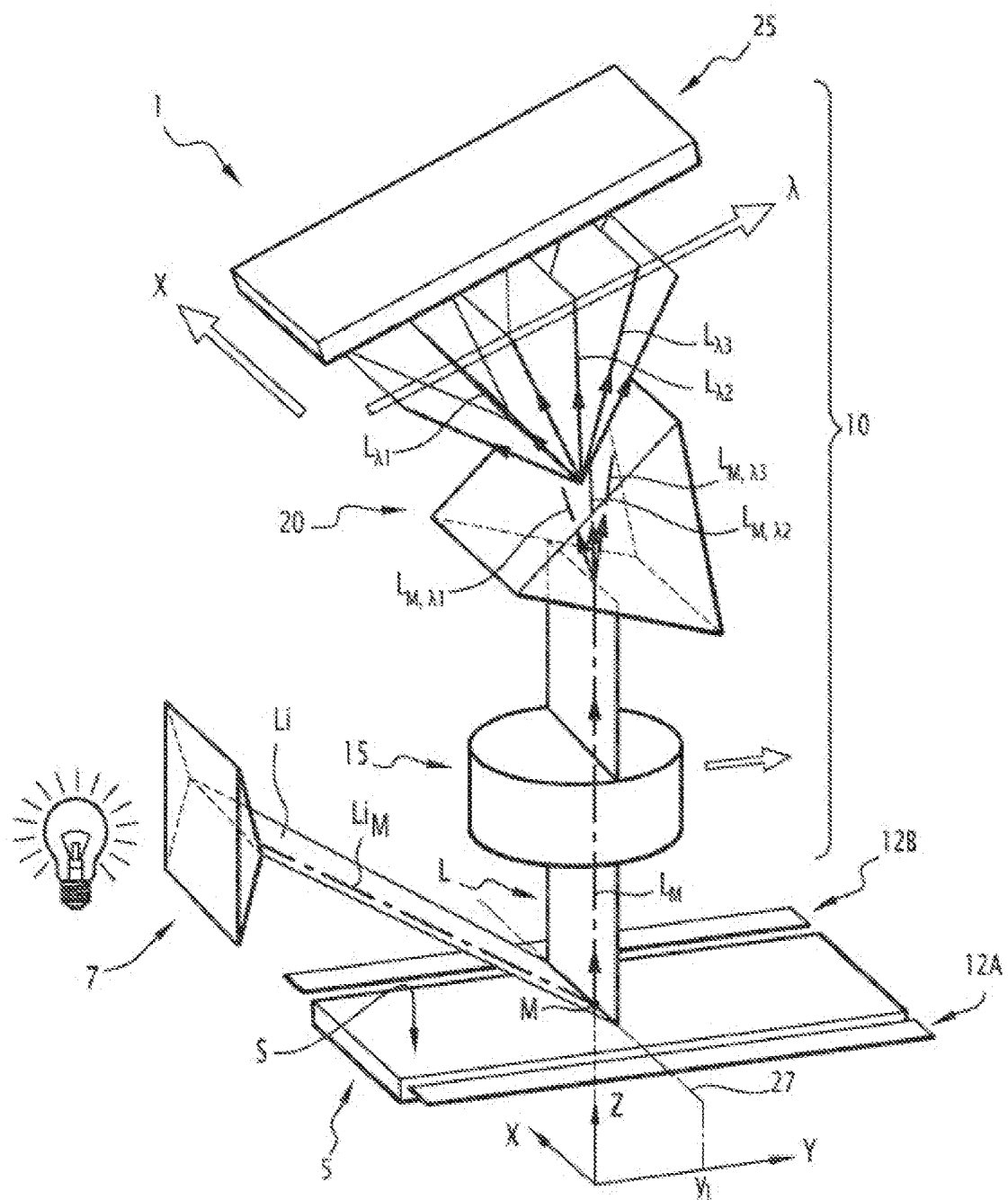


FIG.1

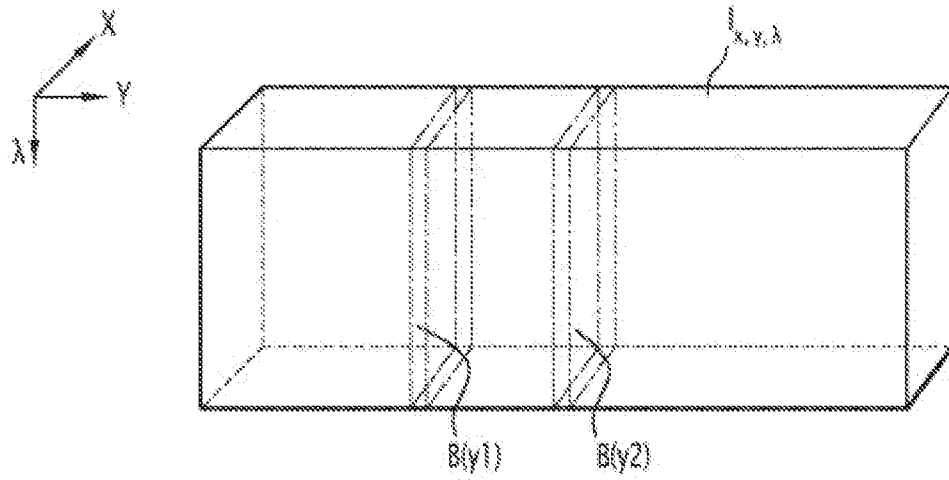


FIG. 2

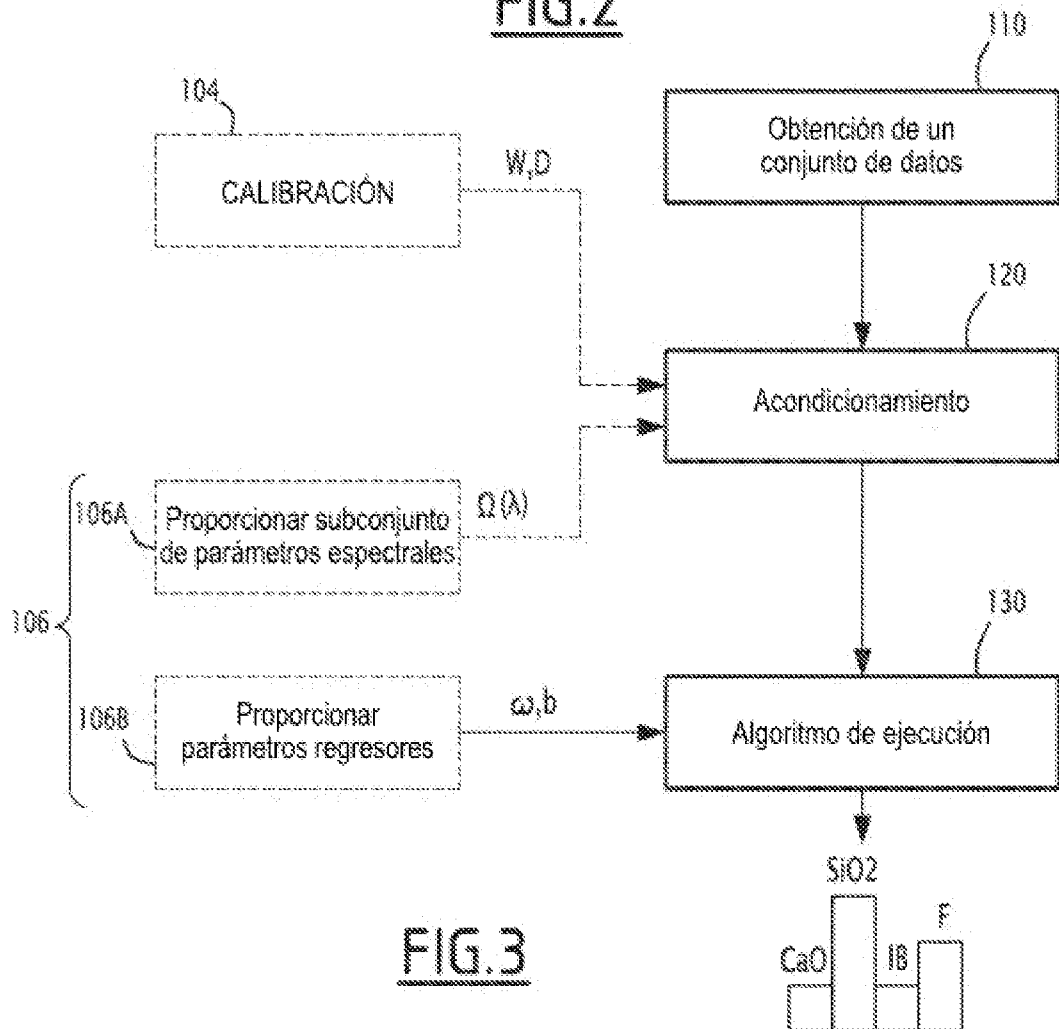


FIG. 3