

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 015 215**

51 Int. Cl.:

G01J 5/00 (2012.01)

G01J 5/80 (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.12.2021** **PCT/IB2021/061437**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.06.2022** **WO22130125**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.12.2021** **E 21823375 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.01.2025** **EP 4264210**

54 Título: **Estimación de la temperatura de un producto de acero**

30 Prioridad:

15.12.2020 WO PCT/IB2020/061937

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.04.2025

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

MICQUE, NOËLLE;
LE NOC, GWENAËL y
FERTE, MORGAN

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 3 015 215 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

Estimación de la temperatura de un producto de acero

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere a un procedimiento de estimación de la temperatura de un producto de acero que se somete a un tratamiento de enfriamiento. El presente procedimiento es particularmente ventajoso cuando hay agua presente en dicho producto de acero. Por ejemplo, en la fabricación de acero, el procedimiento reivindicado se puede aplicar durante el enfriamiento secundario durante una colada continua o en la mesa de agotamiento de un laminador en caliente.
- 10 **[0002]** Durante la fabricación de una tira de acero, desde su fundición hasta su bobinado, el acero se somete a varias operaciones de enfriamiento. Esas operaciones generalmente implican rociar agua sobre el acero. Puede conducir a la formación de una película de agua en la superficie de la tira.
- 15 **[0003]** Las operaciones de enfriamiento generalmente involucran modelos para regular la potencia de enfriamiento. Esos modelos tienen como datos de entrada la temperatura de la tira. Por lo tanto, para dominar de forma fiable el enfriamiento, es clave conocer con precisión la temperatura durante las operaciones de enfriamiento.
- 20 **[0004]** Los pirómetros, que miden las intensidades de radiación, se utilizan generalmente para medir la temperatura del producto de acero. Sin embargo, la intensidad de la radiación medida se ve afectada por la presencia de un medio entre el producto y el pirómetro, como una capa de agua en el producto. Por ejemplo, cuando la superficie de acero y el entorno están libres de cualquier perturbación, su precisión es de alrededor de ± 10 °C. Cuando hay agua en la superficie del acero o cuando hay niebla entre el acero y el pirómetro, el error de medición puede llegar hasta 100 °C. Cuando hay agua en el acero y hay niebla entre el acero y el pirómetro, el error de medición puede llegar hasta 200 °C.
- 25 **[0005]** En consecuencia, existe la necesidad de mejorar la precisión de la medición de la temperatura del acero cuando hay agua en el acero y/o hay niebla entre la tira y el dispositivo de medición.
- 30 **[0006]** El documento EP 2 889 594 describe un procedimiento para medir con precisión la temperatura superficial de un material de acero en un proceso de enfriamiento con agua. Se registra la radiación en las bandas de longitud de onda de 0,7 a 0,9 μm , 1,0 a 1,2 μm y 1,6 a 1,8 μm . Para medir la temperatura del acero, se utiliza un pirómetro. Además, se coloca un vidrio óptico entre el pirómetro y el acero y se coloca en un espacio determinado del acero. El vidrio óptico también se coloca de manera que durante el proceso de enfriamiento, el agua de enfriamiento entre en el espacio entre el material de acero y el vidrio óptico para tener una tensión superficial constante. En consecuencia, se conoce el medio entre el vidrio óptico y el acero. La intensidad de las radiaciones medidas se corrige utilizando un coeficiente relacionado con el espacio entre el material de acero y el vidrio óptico. Esto permite reducir el error de medición de temperatura causado por la absorción o dispersión de la energía radiante por el agua.
- 40 **[0007]** El documento US2009/210191 describe un procedimiento que utiliza una relación de intensidad medida a una intensidad ideal de cuerpo negro para proporcionar una medida que es independiente de la emisividad.
- [0008]** El propósito de la presente invención es proporcionar un procedimiento que mejore la precisión de la medición de temperatura de una banda de acero durante una operación de enfriamiento.
- 45 **[0009]** Esto se consigue proporcionando un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.
- [0010]** Otras características y ventajas se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de la invención.
- 50 La Figura 1 ilustra una realización de las etapas A.i. a B.ii. del proceso reivindicado.
 La Figura 2 ilustra una realización de un espectro de absorción de agua según la longitud de onda.
 La Figura 3 ilustra una realización de un espectro de absorción de vapor de agua según la longitud de onda.
 La Figura 4 ilustra una realización de varios coeficientes de atenuación espectral C_{CALIB} calculados en una etapa de calibración.
 La Figura 5 ilustra los resultados comparativos de una temperatura de la tira de acero medida por termopares y estimada por el proceso reivindicado.
- 55 **[0011]** La invención se refiere a un procedimiento de estimación de la temperatura T_{REAL} de un producto de acero, que tiene una temperatura de 300 °C a 1600 °C comprendiendo :
- 60 A. Una etapa de calibración comprendiendo las etapas de
- i. Medición de intensidades (I),
 a 5 longitudes de onda (λ) que varían de 0,9 a 2,1 μm , donde una es de 0,9 μm a 1,35 μm , una es de 1,35 μm

a 1,55 μm , una es de 1,55 μm a 1,85 μm , una es de 1,85 μm a 2,05 μm y una es de 2,05 μm a 2,1 μm , por medio de un sensor, de la radiación emitida por una referencia que tiene una temperatura conocida (T_{REF}) en condiciones de medición caracterizadas por una emisividad de dicha referencia (ϵ_{REF}) y una transmitancia de un medio entre dicha referencia y dicho sensor (α_{REF}), donde dicha referencia es un producto de acero,

ii. Calcular un coeficiente de atenuación espectral C_{CALIB} utilizando dichas intensidades medidas (I) a dichas 5 longitudes de onda,

$$C_{\text{CALIB}} = \frac{I}{P(\lambda, T_{\text{REF}})} = \epsilon_{\text{REF}} \cdot \alpha_{\text{REF}}$$

donde $P(\lambda, T_{\text{REF}})$ es la densidad espectral de la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro en equilibrio térmico, según la Ley de Planck, a una longitud de onda (λ) y a una temperatura (T_{REF}),

iii. Repitiendo las etapas i. y ii. para N_{CALIB} diferente combinación de emisividad de referencia (ϵ_{REF}) y transmitancia de un medio entre dicha referencia y dicho sensor (α_{REF}) para obtener coeficientes de atenuación espectral de N_{CALIB} , siendo N_{CALIB} un número entero mayor que 2,

B. Una etapa de medición que comprende las etapas de

i. Medición de las intensidades de la radiación emitida por dicho producto de acero, I , a dichas 5 longitudes de onda (λ) que varían de 0,9 a 2,1 μm ,

ii. Calcular los coeficientes de atenuación espectral $N_T C_{\text{COMPUTE } T_j}$, para temperaturas N_T (T_j) que varían de 300 a 1600 $^{\circ}\text{C}$ y para dichas 5 longitudes de onda, siendo N_T un número entero de 2 a 1300,

$$C_{\text{COMPUTE } T_j} = \frac{I}{P(\lambda, T_j)} = \epsilon_{\text{COMPUTE}} \times \alpha_{\text{COMPUTE}}$$

donde

- $P(\lambda, T_j)$ es la densidad espectral de la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro en equilibrio térmico, según la Ley de Planck, a una longitud de onda de λ y a una temperatura T_j ,

C. Una etapa de comparación que comprende las etapas de

i. Realizar una prueba de probabilidad para encontrar el $C_{\text{COMPUTE } T_j}$ más probable entre los C_{CALIB}

ii. Estimar la temperatura de dicho producto de acero, T_{REAL} como igual a la temperatura T_j de dicho $C_{\text{COMPUTE } T_j}$.

[0012] En la Figura 1 se muestran las etapas del proceso.

[0013] El producto de acero puede ser cualquier tipo de producto como una tira, una banda o una losa. Sin embargo, no se conoce la temperatura del producto de acero, dependiendo de las etapas del proceso donde se realiza la medición, el experto en la materia conoce el intervalo donde debe estar la temperatura. Por ejemplo, en un tratamiento de enfriamiento de una banda de acero después de un laminado en caliente, la temperatura de la banda de acero generalmente está comprendida entre 300 $^{\circ}\text{C}$ y 1100 $^{\circ}\text{C}$.

[0014] En la etapa de calibración A.i., las intensidades de la radiación emitida por el producto de acero de referencia se pueden medir por cualquier medio adecuado. Preferentemente se miden mediante una cámara hiperspectral.

[0015] En la etapa de calibración A.i., el producto de acero de referencia tiene preferentemente una composición similar al producto de acero que tiene su temperatura estimada. Incluso más preferentemente, el producto de acero de referencia tiene el mismo grado que el producto de acero que se analiza.

[0016] En la etapa de calibración A.i., la temperatura del producto de acero de referencia se puede medir por cualquier medio. Preferentemente, esta temperatura se mide utilizando termopares.

[0017] En la etapa de calibración A.ii., se puede calcular un coeficiente de atenuación espectral C_{CALIB} dividiendo cada intensidad I registrada por $P(\lambda, T_j)$ a la temperatura medida.

[0018] Las etapas A.i. y A.ii. se repiten para tiempos N_{CALIB} , correspondiendo cada vez a nuevas condiciones

de medición. Las condiciones de medición se definen mediante una combinación de la emisividad de referencia (ϵ_{REF}) y la transmitancia del medio entre la referencia y el sensor (α_{REF}). Permite obtener varios calibres C_{CALIB} diferentes condiciones de medición. Mayor es N_{CALIB} , mayor es la precisión de la estimación.

5 **[0019]** En otras palabras, las etapas i. y ii. De la etapa de calibración A. se repiten para varias combinaciones de emisividad del producto de acero (ϵ_{REF}) y transmitancia de la condición de medición (α_{REF}). ϵ_{REF} varía según varios factores, como la temperatura del producto de acero de referencia, las propiedades de la superficie (como la presencia de aceite). α_{REF} depende del medio entre el sensor y el producto de acero de referencia, como el espesor de una capa de agua en el producto de acero de referencia.

10

[0020] Sin embargo, no es necesario conocer el valor de ϵ_{REF} y α_{REF} para calcular el C_{CALIB} .

[0021] En la etapa de medición B.i., las intensidades emitidas por dicho producto de acero se miden preferentemente usando una cámara hiperespectral. La longitud de onda a la que se miden las intensidades en la etapa B.i. es la misma que la de la etapa A.i.

15

[0022] En la etapa de medición B.ii., mayor es el número de temperatura (N_T) para el que se calcula un coeficiente de atenuación espectral, mayor es la precisión de la estimación.

20 **[0023]**

Además, tanto en las etapas de calibración como de medición, las intensidades medidas se pueden ajustar utilizando una función de transferencia.

[0024] La medición de las intensidades de radiación en dichas 5 longitudes de onda, una de 0,9 μm a 1,35 μm , una de 1,35 μm a 1,55 μm , una de 1,55 μm a 1,85 μm , una de 1,85 μm a 2,05 μm y una de 2,05 μm a 2,1 μm permite describir la forma del espectro de una combinación de la emisividad del producto y de la transmitancia del medio utilizando un número reducido de intensidades. De hecho, en un intervalo de 0,9 a 2,1, el espectro de absorción de agua, como se representa en la Figura 1, presenta dos picos, uno de 1,35 μm a 1,55 μm y otro de 1,85 μm a 2,05 μm .

25

[0025] En la etapa de comparación C., se realiza una prueba de probabilidad para encontrar el $C_{COMPUTED T_J}$ MÁS PROBABLE entre los C_{CALIB} . Se puede realizar cualquier procedimiento que permita encontrar el $C_{COMPUTED T_J}$ más probable entre los C_{CALIB} .

30

[0026] Este procedimiento permite mejorar la precisión de la estimación de la temperatura de un producto de acero porque la estimación considera la influencia de la condición de medición, como la presencia de agua en el producto de acero.

35

[0027] Preferentemente, dicho tratamiento de enfriamiento se realiza durante o después de un laminado en caliente y dicho producto de acero tiene una temperatura de 300 °C a 1100 °C y, en la etapa B, T_J varía de 300 °C a 1100 °C. Este enfriamiento generalmente se realiza en una mesa de agotamiento.

40

[0028] Preferentemente, dicho tratamiento de enfriamiento se realiza durante la colada continua y dicho producto de acero tiene una temperatura de 800 °C a 1600 °C y, en la etapa B, T_J varía de 800 °C a 1600 °C.

[0029] Preferentemente, en las etapas A)i. y B)i., se miden las intensidades de radiación de 8 longitudes de onda (λ) que varían de 0,9 a 2,1 μm , donde una es de 0,9 μm a 1,11 μm , una es de 1,11 μm a 1,15 μm , una es de 1,15 μm a 1,35 μm , una es de 1,35 μm a 1,55 μm , una es de 1,55 μm a 1,85 μm , una es de 1,85 μm a 2,05 μm , una es de 2,05 μm a 2,07 μm y una es de 2,07 μm a 2,1 μm y en las etapas A)ii. y B)ii., se calculan los coeficientes de atenuación espectral para dichas 8 longitudes de onda. La medición de las intensidades de radiación de dichas 8 longitudes de onda mejora la precisión de la medición cuando un medio, como un vapor, está presente entre el producto de acero y el sensor. Los intervalos, de 1,11 μm a 1,15 μm y de 2,05 a 2,07 μm corresponden a picos del espectro de absorción de vapor, como se ilustra en la Figura 2. Además, esos dos picos no coinciden con los picos del espectro de absorción de agua.

45

[0030] Preferentemente, en las etapas A)i. y B)i., se miden las intensidades de radiación a 5 longitudes de onda adicionales que varían de 0,9 a 2,1 μm y en las etapas A)ii. y B)ii., se calculan los coeficientes de atenuación espectral para dichas 8 longitudes de onda y dichas 5 longitudes de onda adicionales. Las 13 longitudes de onda se distribuyen preferentemente de manera uniforme en dichos intervalos, lo que significa que las 13 longitudes de onda están separadas por un intervalo de 0,1 μm (0,9, 1,0, ..., 2,0, 2, 1).

55

[0031] Preferentemente, en las etapas A)i. y B)i., se miden las intensidades de radiación a 42 longitudes de onda adicionales que varían de 0,9 a 2,1 μm y en las etapas A)ii. y B)ii., se calculan los coeficientes de atenuación espectral para dichas 8 longitudes de onda y dichas 42 longitudes de onda adicionales.

60

[0032] Preferentemente, en las etapas A)i. y B)i., se miden las intensidades de radiación a 92 longitudes de onda adicionales que varían de 0,9 a 2,1 μm y en las etapas A)ii. y B)ii., se calculan los coeficientes de atenuación

65

espectral para dichas 8 longitudes de onda y 92 longitudes de onda adicionales.

[0033] Preferentemente, N_{CALIB} es un número entero de 2 a 1000 y preferentemente de 20 a 1000.

5 **[0034]** Preferentemente, en la etapa C)i., la prueba de probabilidad comprende una reducción de la dimensionalidad en dicho C_{CALIB} definiendo los componentes principales. Incluso más preferentemente, en la etapa C)i., la reducción de la dimensionalidad se realiza con un análisis de componentes principales.

10 **[0035]** Preferentemente, en la etapa C)i., la prueba de probabilidad comprende la proyección de dicho C_{CALIB} en un modelo probabilístico. Aún más preferentemente, en la etapa C)i., dicho modelo probabilístico es un modelo de mezcla gaussiana.

REALIZACIÓN DE LA INVENCION

15 **[0036]** Para evaluar la precisión del procedimiento reivindicado, la temperatura de una banda de acero que se enfría en una tabla de agotamiento se ha medido mediante un termopar y se ha estimado mediante el presente procedimiento.

A. Etapa de calibración

20 **[0037]** Durante la etapa de calibración, la intensidad de radiación emitida por una tira de acero, que se enfría en una tabla de agotamiento, se ha registrado mediante una cámara hiperspectral. Más precisamente, se han registrado las intensidades a 256 longitudes de onda que van de 1,1 a 2,1 μm . Las 256 longitudes de onda estaban distribuidas uniformemente en dicho intervalo. La temperatura de la banda de acero se ha medido mediante
25 termopares.

[0038] Las etapas de calibración comprendieron 6 ensayos que duraron entre 5 y 15 minutos, donde las intensidades de radiación se midieron entre 10 y 100 veces por segundo. Entonces, se registraron unas pocas miles de condiciones de medición. Tuvieron lugar durante el enfriamiento (presencia de gotas, niebla y agua) y
30 después/antes del enfriamiento (sin presencia de agua/niebla) y para la banda de acero que tiene varios niveles de oxidación.

[0039] A continuación, se han calculado varios coeficientes de atenuación espectral C_{CALIB} utilizando la densidad espectral de la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro en equilibrio térmico, la temperatura
35 medida por los termopares y la función de transferencia de la cámara hiperspectral. Cada uno de los C_{CALIB} tenía 256 valores, uno para cada una de dichas 256 longitudes de onda. Los C_{CALIB} se trazan en la Figura 4.

B. Medición

40 **[0040]** Durante la etapa de medición, la intensidad de radiación emitida por una tira de acero, que se enfría en una mesa de agotamiento, se ha registrado mediante una cámara hiperspectral. Más precisamente, se han registrado las intensidades, a las mismas 256 longitudes de onda que en la etapa de calibración.

[0041] Además, se han definido 261 temperaturas que oscilan entre 300 y 1600 °C como posibles temperaturas
45 para la tira de acero medida, por lo que $N_T=261$. Esas temperaturas estaban espaciadas por un intervalo de 5 °C: (300, 305, 310... 1595, 1600 °C).

[0042] A continuación, las intensidades de radiación medidas en dichas 256 longitudes de onda se han dividido por el valor de la ley de Planck y multiplicado por la función de transferencia para cada una de las 261 temperaturas
50 definidas anteriormente. Por lo tanto, se calcularon 261 coeficientes de atenuación espectral $C_{\text{COMPUTE } T_j}$. Cada uno de dichos 261 coeficientes de atenuación espectral tenía 256 valores, uno para cada longitud de onda medida, y una temperatura asociada.

C. Comparación

55 **[0043]** La prueba de probabilidad de esta realización comprende 10 etapas.

- 1) Se realiza un análisis de componentes principales (PCA) en todos los coeficientes de atenuación espectral C_{CALIB} , obtenidos durante la etapa de calibración, para obtener 3 componentes PCA principales (PC_1 , PC_2 , PC_3).
- 60 A continuación, cada C_{CALIB} de la base de datos se aproxima utilizando dichos tres componentes principales.
- 2) Los coeficientes de atenuación espectral se proyectan en un espacio PCA definido por los 3 componentes principales anteriormente definidos.
- 3) La densidad de puntos en el espacio PCA de la etapa 2) se proyecta en un modelo de mezcla gaussiana.
- 4) Cada uno de dichos 261 $C_{\text{COMPUTE } T_j}$ se proyecta en el espacio PCA definido por los 3 componentes principales
65 definidos anteriormente.

- 5) Para cada uno de los 261 $C_{\text{COMPUTE } T_j}$, se reconstruye un coeficiente de atenuación espectral aproximado a partir de sus coordenadas en el espacio de PCA definido en 4) y se define un primer factor de probabilidad (Like1) comparando la atenuación espectral original y su reconstrucción a partir de los coeficientes de PCA.
- 6) Cada uno de dichos 261 $C_{\text{COMPUTE } T_j}$ se proyecta en el modelo de mezcla gaussiana definido en 3) y se determina un segundo factor de probabilidad (Like2). Like2 representa la densidad local de los datos de aprendizaje proyectados en el espacio PCA. Por tanto, dos probabilidades (Like1 y Like2) están asociadas a cada uno de dichos 261 $C_{\text{COMPUTE } T_j}$.
- 7) A continuación, se calcula el producto de Like1 y Like2 para cada uno de dichos 261 $C_{\text{COMPUTE } T_j}$.
- 10 Finalmente, la temperatura asociada al $C_{\text{COMPUTE } T_j}$ que maximiza el producto de 7) se define como la temperatura de la banda de acero.

- [0044]** Los resultados comparativos de la temperatura obtenida a través de las medidas de termopares y a través de la estimación reivindicada se representan en la Figura 5. La línea con los puntos representa la temperatura estimada por el procedimiento descrito anteriormente, mientras que la línea continua representa la temperatura medida por termopares. Se puede ver claramente que la temperatura dada por el presente procedimiento es confiable.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para estimar la temperatura T_{REAL} de un producto de acero, que tiene una temperatura de 300 °C a 1600 °C, comprendiendo:

A. Una etapa de calibración comprendiendo las etapas de

i. Medir intensidades (I), a 5 longitudes de onda (λ) que varían de 0,9 a 2,1 μm , donde una es de 0,9 μm a 1,35 μm , una es de 1,35 μm a 1,55 μm , una es de 1,55 μm a 1,85 μm , una es de 1,85 μm a 2,05 μm y una es de 2,05 μm a 2,1 μm , por medio de un sensor, de la radiación emitida por una referencia que tiene una temperatura conocida (T_{REF}) en condiciones de medición **caracterizadas por** una emisividad de dicha referencia (ϵ_{REF}) y una transmitancia de un medio entre dicha referencia y dicho sensor (α_{REF}), donde dicha referencia es un producto de acero,

ii. Calcular un coeficiente de atenuación espectral C_{CALIB} utilizando dichas intensidades medidas (I) a dichas 5 longitudes de onda,

$$C_{CALIB} = \frac{I}{P(\lambda, T_{REF})} = \epsilon_{REF} \cdot \alpha_{REF}$$

donde $P(\lambda, T_{REF})$ es la densidad espectral de la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro en equilibrio térmico, según la Ley de Planck, a una longitud de onda (λ) y a una temperatura (T_{REF}),

iii. Repetir las etapas i. y ii. para N_{CALIB} diferente combinación de emisividad de referencia (ϵ_{REF}) y transmitancia de un medio entre dicha referencia y dicho sensor (α_{REF}) para obtener coeficientes de atenuación espectral de N_{CALIB} , siendo N_{CALIB} un número entero mayor que 2,

B. Una etapa de medición que comprende las etapas de

i. Medición de las intensidades de la radiación emitida por dicho producto de acero, I , a dichas 5 longitudes de onda (λ) que varían de 0,9 a 2,1 μm ,

ii. Calcular N_T coeficientes de atenuación espectral $C_{COMPUTE Tj}$, para N_T temperaturas (T_j) que varían de 300 a 1600 °C y para dichas 5 longitudes de onda, siendo N_T un número entero de 2 a 1300,

$$C_{COMPUTE Tj} = \frac{I}{P(\lambda, T_j)} = \epsilon_{COMPUTE} \times \alpha_{COMPUTE}$$

donde

- $P(\lambda, T_j)$ es la densidad espectral de la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro en equilibrio térmico, según la Ley de Planck, a una longitud de onda de λ y a una temperatura T_j ,

C. Una etapa de comparación que comprende las etapas de

i. Realizar una prueba de probabilidad para encontrar el $C_{COMPUTE Tj}$ más probable entre los C_{CALIB}

ii. Estimar la temperatura de dicho producto de acero, T_{REAL} como igual a la temperatura T_j de dicho $C_{COMPUTE Tj}$ más probable.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, donde dicho tratamiento de enfriamiento se realiza durante o después de un laminado en caliente y dicho producto de acero tiene una temperatura de 300 °C a 1100 °C y donde, en la etapa B, T_j varía de 300 °C a 1100 °C.

3. Procedimiento según la reivindicación 1, donde dicho tratamiento de enfriamiento se realiza durante o después de una colada continua y dicho producto de acero tiene una temperatura de 800 °C a 1600 °C y donde, en la etapa B, T_j varía de 800 °C a 1600 °C.

4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en las etapas A)i. y B)i., se miden las intensidades de radiación de 8 longitudes de onda (λ) que varían de 0,9 a 2,1 μm , donde una es de 0,9 μm a 1,11 μm , una es de 1,11 μm a 1,15 μm , una es de 1,15 μm a 1,35 μm , una es de 1,35 μm a 1,55 μm , una es de 1,55 μm a 1,85 μm , una es de 1,85 μm a 2,05 μm , una es de 2,05 μm a 2,07 μm y una es de 2,07 μm a 2,1 μm y en las etapas A)ii. y B)ii., se calculan los coeficientes de atenuación espectral para dichas 8 longitudes de onda.

5. Procedimiento según la reivindicación 4, donde, en las etapas A)i. y B)i., se miden las intensidades de radiación a 5 longitudes de onda adicionales que oscilan entre 0,9 y 2,1 μm y en las etapas A)ii. y B)ii., se calculan los

coeficientes de atenuación espectral para dichas 8 longitudes de onda y dichas 5 longitudes de onda adicionales.

6. Procedimiento según la reivindicación 4, donde, en las etapas A)i. y B)i., se miden las intensidades de radiación a 42 longitudes de onda adicionales que oscilan entre 0,9 y 2,1 μm y en las etapas A)ii. y B)ii., se calculan los coeficientes de atenuación espectral para dichas 8 longitudes de onda y dichas 42 longitudes de onda adicionales.
7. Procedimiento según la reivindicación 4, donde, en las etapas A)i. y B)i., se miden las intensidades de radiación a 92 longitudes de onda adicionales que oscilan entre 0,9 y 2,1 μm y en las etapas A)ii. y B)ii., se calculan los coeficientes de atenuación espectral para dichas 8 longitudes de onda y 92 longitudes de onda adicionales.
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, donde N_{CALIB} es un número entero de 2 a 1000 y preferentemente de 20 a 1000.
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, donde, en la etapa C)i., la prueba de probabilidad comprende una reducción de la dimensionalidad en dicho C_{CALIB} definiendo los componentes principales.
10. Procedimiento según la reivindicación 9, donde, en la etapa C)i., la reducción de la dimensionalidad se realiza con un análisis de componentes principales.
11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, donde, en la etapa C)i., la prueba de probabilidad comprende la proyección de dicho C_{CALIB} en un modelo probabilístico.
12. Procedimiento según la reivindicación 11, donde, en la etapa C)i., dicho modelo probabilístico es un modelo de mezcla gaussiana.

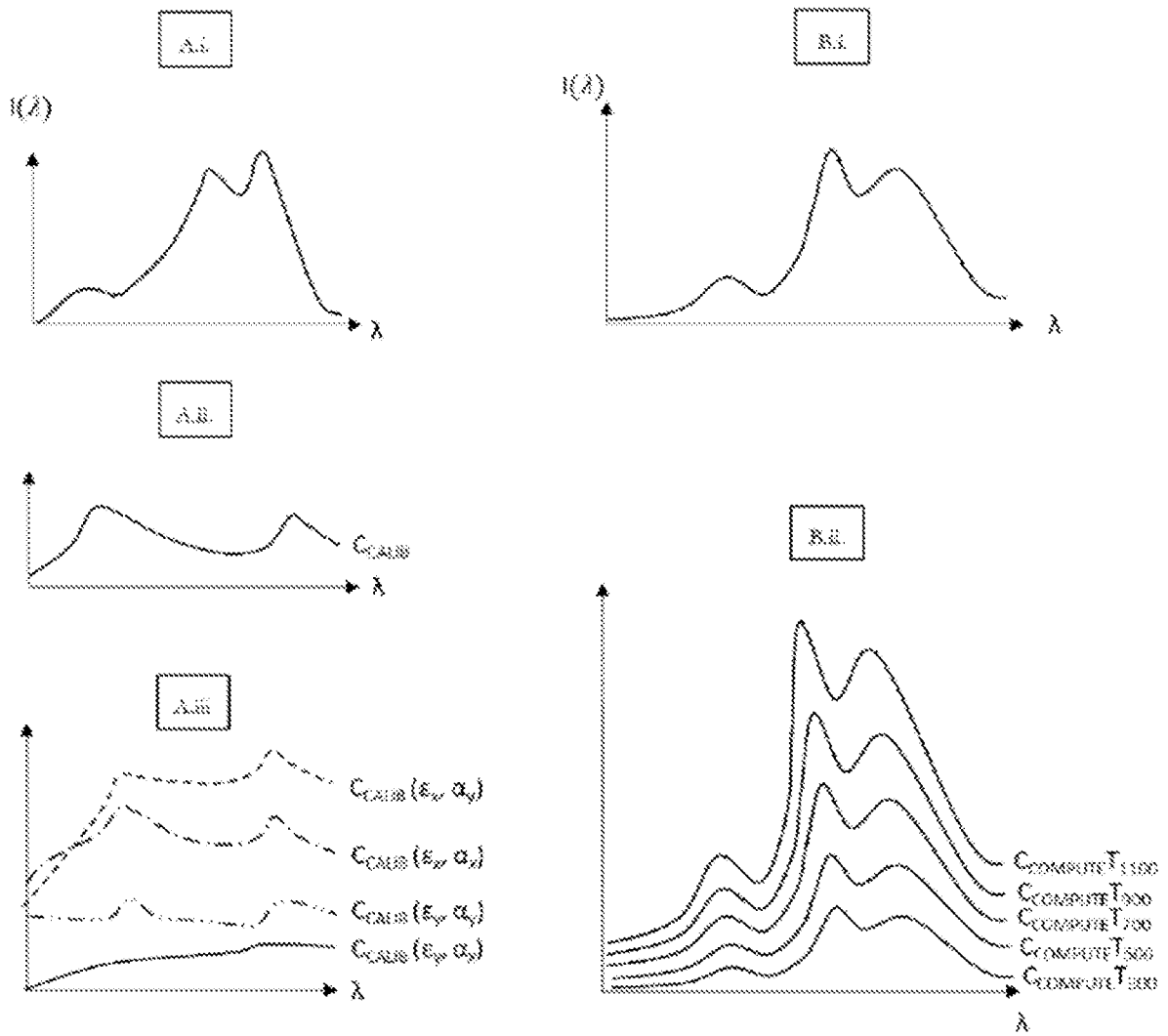


Figura 1

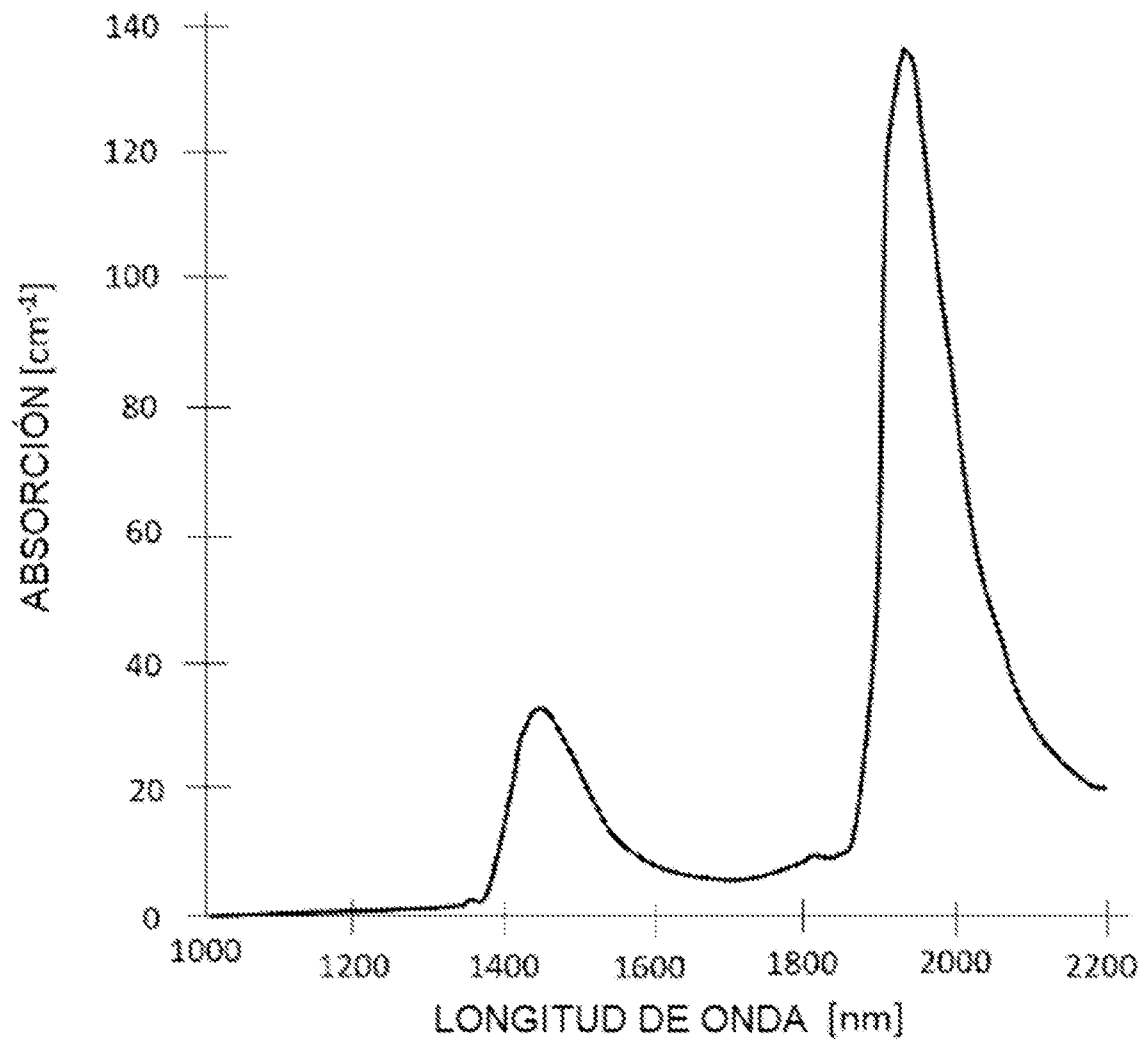


Figura 2

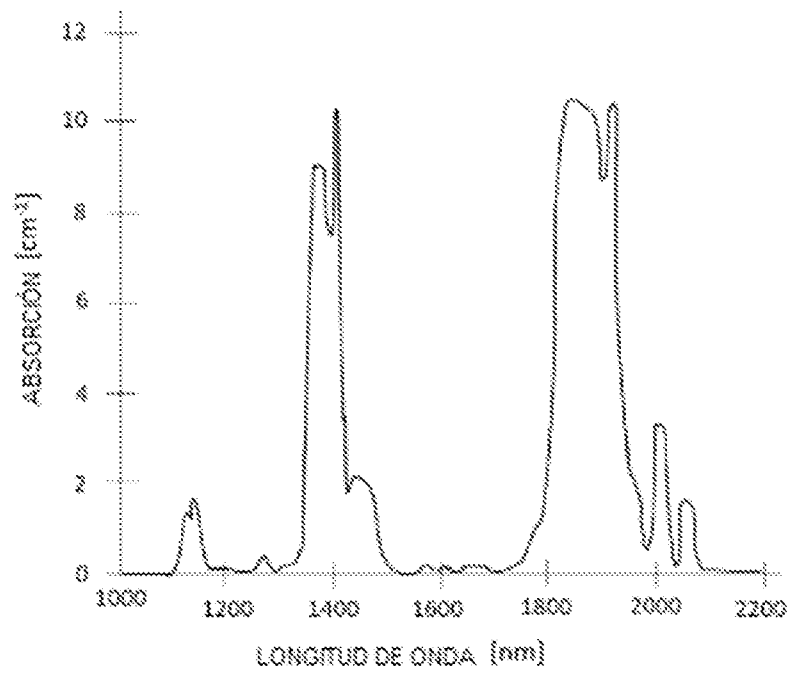


Figura 3

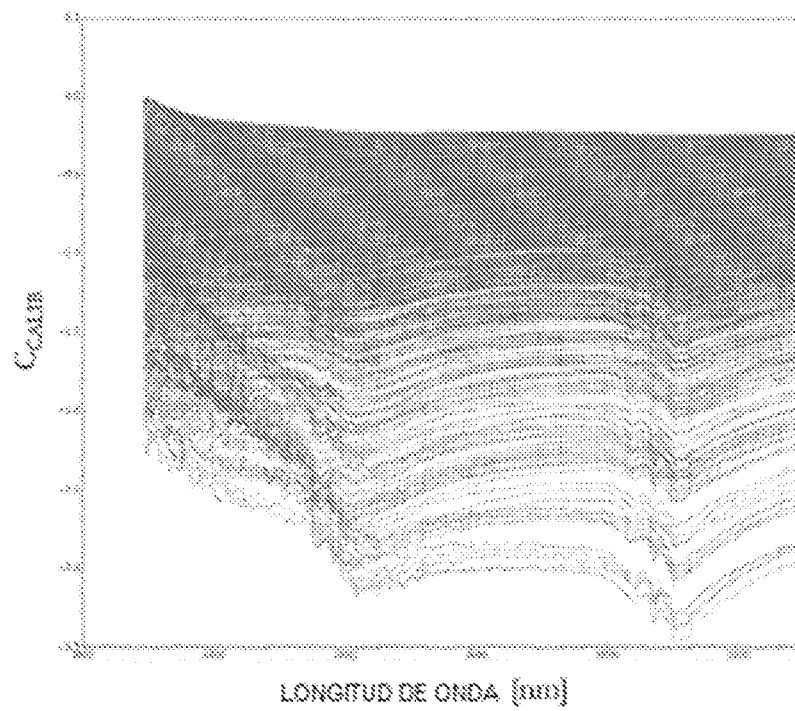


Figura 4

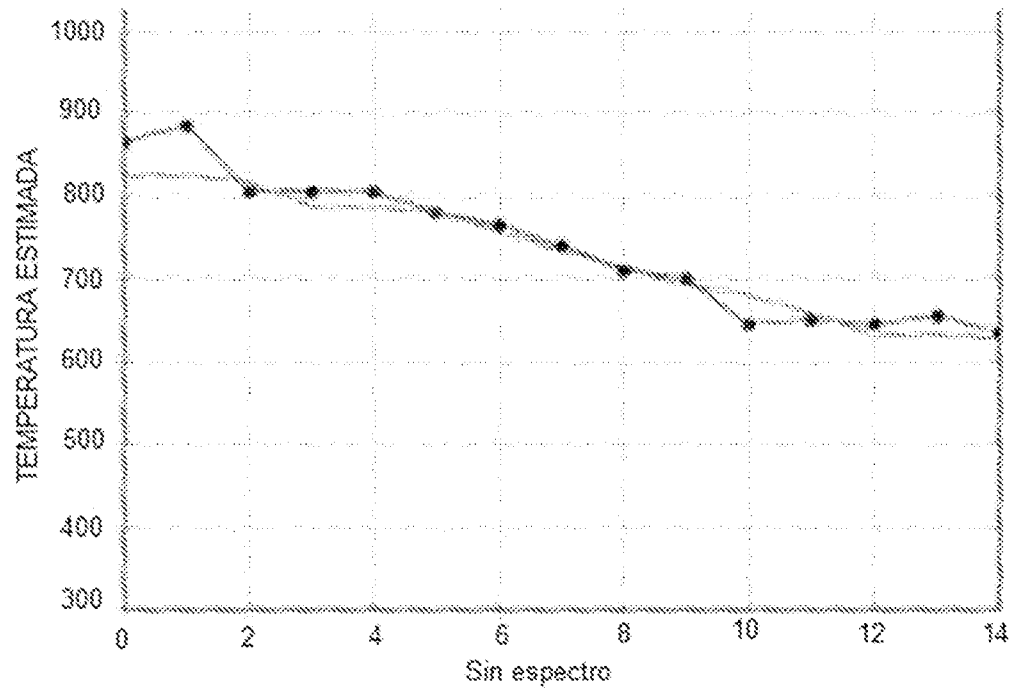


Figura 5