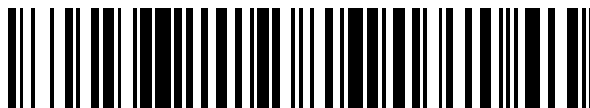


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 958 041**

21 Número de solicitud: 202230599

51 Int. Cl.:

G01N 21/55 (2014.01)

G01N 21/47 (2006.01)

G01N 21/57 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

01.07.2022

43 Fecha de publicación de la solicitud:

31.01.2024

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

05.11.2024

Fecha de concesión:

15.04.2025

45 Fecha de publicación de la concesión:

24.04.2025

73 Titular/es:

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ (50.00%)

Paseo Carlos III, nº 9

11003 Cádiz (Cádiz) ES y

ACERINOX EUROPA, S.A.U. (50.00%)

72 Inventor/es:

GONZÁLEZ LEAL, Juan María y

GALLERO REBOLLO, Enrique

54 Título: **PROCEDIMIENTO Y DISPOSITIVO PARA DETERMINAR LA CALIDAD SUPERFICIAL DE ACEROS INOXIDABLES BASADO EN ANÁLISIS DE IMAGEN**

57 Resumen:

Procedimiento y dispositivo para determinar la calidad superficial de aceros inoxidable basados en análisis de imagen.

La invención propone un método y un aparato para la medida de la luminancia y de la luminosidad de la superficie de aceros inoxidable, basado en la captura de la imagen reflejada sobre esta superficie de un patrón de alto contraste y el análisis de la distribución de los niveles de grises de esta imagen registrada.

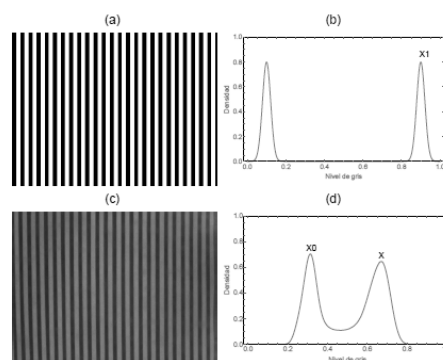


Fig. 1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 958 041 B2

DESCRIPCIÓN

PROCEDIMIENTO Y DISPOSITIVO PARA DETERMINAR LA CALIDAD SUPERFICIAL DE ACEROS INOXIDABLES BASADO EN ANÁLISIS DE IMAGEN

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

La presente invención se contextualiza en el campo de aparatos ópticos para el control de calidad de la superficie de los materiales.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La medida de las características ópticas de un objeto resulta de gran interés como atestigua la cantidad de estudios y tecnología desarrollados para analizar diferentes aspectos relacionados con la reflexión de la luz en una superficie. Apoya este interés, la existencia de organismos internacionales, tales como la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), que se encargan de la definición de la terminología, las magnitudes físicas radiométricas y fotométricas y las normas al respecto de la luz y el color de los objetos. E igualmente apoya este interés la existencia de normativa específica para cuantificar la calidad óptica de una superficie, en las que se definen parámetros como el brillo o el nublado (*gloss* y *haze* en terminología inglesa, respectivamente) que dan cuenta de aspectos de caracterización de producto y control de calidad industrial.

15

20

25

30

De especial relevancia para el establecimiento de las bases para el funcionamiento de la presente invención son los documentos elaborados por la CIE (CIE 15:2018, Colorimetry, 4th edition; CIE 130:1998, Practical methods for the measurement of reflectance and transmission), en los que se encuentran recomendaciones sobre cómo realizar las medidas de color de los objetos y su representación cuantitativa en los denominados espacios de color. A este respecto, las recomendaciones para la medida del color recaen típicamente en el uso de esferas integradoras en combinación con un espectrofotómetro. Las geometrías ópticas de las medidas pueden ser variadas y responden a destacar diferentes aspectos de la luz reflejada por una superficie.

35

Es igualmente relevante mencionar que en el mercado existen aparatos para cuantificar la calidad óptica de una superficie, según ciertas normas (ASTM E 430 – 19. Standard test methods for measurement of gloss of high-gloss surfaces by abridged goniophotometry; UNE-EN ISO 7668:2018. Anodización del aluminio y sus aleaciones.

5 Medición de la reflectancia especular y del brillo especular de los recubrimientos anódicos del óxido en ángulos de 20°, 45°, 60° u 85°; UNE-EN ISO 2813:2015. Pinturas y barnices. Determinación del índice de brillo especular a 20°, 60° y 85°; UNE-EN ISO 13803:2015. Pinturas y barnices. Determinación del velo especular sobre películas de pintura a 20°; UNE-EN ISO 8781-3:1996. Pigmentos y extendedores. Métodos de

10 evaluación de las características de dispersión. Parte 3: Evaluación a partir de las variaciones de brillo), que basan su principio de medida en un goniofotómetro que recoge el flujo radiante de la superficie del material bajo estudio, cuando es iluminada con una fuente luminosa bajo un cierto ángulo de incidencia, mediante un conjunto de fotorreceptores a diferentes ángulos alrededor del ángulo de reflexión especular,

15 contenidos normalmente en el plano de incidencia. Típicamente las medidas se realizan a 20°, 60° y 85°.

La presente invención describe un método sencillo para la estimación de luminancia Y, así como la luminosidad L^* , de aceros inoxidables, sin necesidad de usar una esfera

20 integradora, basado en el análisis de la imagen reflejada por la superficie del acero inoxidable bajo estudio, de un patrón de alto contraste y el análisis de la distribución de los niveles de grises de esta imagen registrada.

La luminancia es una magnitud física que representa la relación entre cantidad de luz

25 reflejada por una superficie y su área. Esta magnitud es proporcional al valor de triestímulo Y, definido en el documento CIE 15, y suele utilizarse como indicador adimensional de la luminancia de un objeto, en una escala de 0 a 100. Este indicador también suele denominarse valor de reflectancia de la luz o *light reflectance value* (LRV) en terminología inglesa y es de utilidad para cuantificar el contraste óptico entre

30 objetos, de cara a valorar la claridad en la percepción visual de por ejemplo señales de advertencia o de seguridad en edificios (véase la norma BS 8493:2008+A1:2010 Light reflectance value (LRV) of a surface – Method of test a este respecto).

Asimismo, la luminosidad L^* es una coordenada de color definida en el espacio de

35 color CIELab. Este espacio de color permite cuantificar el color en coordenadas con

una métrica euclídea, lo que hace que la diferencia entre dos colores sea perceptivamente lineal, de forma que un cambio de la misma cantidad en un valor de color produce un cambio visual similar. En este espacio de color, la coordenada L^* expresa la luminosidad del color, la coordenada a^* da cuenta del contenido de color entre rojo y verde, y la coordenada b^* , representa el contenido de color entre amarillo y azul. Estas coordenadas varían en una escala de 0 a 100.

Ambas magnitudes, Y y L^* , son sensibles al efecto de nublado en la reflexión óptica de aceros inoxidables. Este efecto se caracteriza por dar un aspecto blanquecino a la superficie del acero inoxidable que reduce el brillo y la especularidad de su superficie. El efecto se debe a la acción combinada del esparcimiento de la luz debido a la rugosidad y al scattering subsuperficial en la capa pasiva dieléctrica que es característica de los aceros inoxidables (J.M. González-Leal y col., Analysis of the visual appearance of AISI 430 ferritic stainless steel flat sheets manufactured by cool rolling and bright annealing, Metals 11 (2021) 1058; J.M. González-Leal y col., Radiometric analysis of haze in bright-annealed AISI 430 ferritic stainless steel, Applied Optics 61 (2022) 2155).

El efecto de nublado se correlaciona con un aumento en el valor de Y y de L^* , cuando éstos se calculan a partir de la componente difusa de la reflexión óptica, con una geometría óptica $8^\circ/\text{de}$. Tal geometría se define en los documentos CIE 15:2018, Colorimetry, 4th edition; CIE 130:1998, Practical methods for the measurement of reflectance and transmisión.

El funcionamiento de la presente invención se basa en el análisis del histograma bimodal de los valores de gris de los píxeles de la imagen registrada, que corresponde a un patrón de alto contraste, de tipo Ronchi, reflejado en la superficie de un acero inoxidable del que se quiere estimar su luminancia y/o luminosidad, de ahí que no se vea afectada por los conocidos métodos de medida de reflexión óptica basados en un goniómetro, ni con sus aparatos asociados (brillómetros y nublómetros), así como tampoco por aquellos basados en una esfera integradora, ni sus aparatos asociados (colorímetros).

Entre las patentes que pudieran estar relacionadas con el objeto de la presente invención, se considera de relevancia la patente US 4878114 A, en la que se propone

un método y un sistema para la evaluación de la rugosidad de superficies planas. El método se basa en el histograma unimodal de niveles de grises de los píxeles de un dispositivo (CCD) que registra la distribución luminosa reflejada por una superficie. La evaluación de la rugosidad se basa en las características estadísticas del histograma, a saber, valor medio (RMS), desviación estándar (SD) y sesgo (S). El documento incluye la consideración de histogramas bimodales como efecto de la presencia de defectos topográficos que producen discontinuidades en la superficie, como son arañazos, grietas, poros o incrustaciones. En la patente, en ningún caso se hace referencia al nublado como un defecto incluido entre los contemplados en esta patente, el cual es una característica general del aspecto de la superficie y no una discontinuidad presente en ella. Como se ha indicado, todos los defectos reclamados en la patente US 4878114 A comparten el ser discontinuidades en la topografía de la superficie, mientras que el nublado en aceros inoxidables es fuertemente dependiente de las propiedades físico/químicas de la capa pasiva, no solo de la rugosidad de la superficie.

El método reclamado en la patente US 4878114 A se ve además influido por las características de la fuente luminosa, en particular, por su radiancia espectral, así como por el grado de enfoque del dispositivo de captura de la imagen. De esta forma, el uso de una fuente de tungsteno, como se indica en el documento, o una fuente tipo LED, ya sea de luz cálida, fría o neutra, tendrán su efecto en la forma del histograma, y, por tanto, en los valores de RMS, SD y S. Igualmente el grado de enfoque del dispositivo su efecto en las características de este histograma unimodal. Por el contrario, la patente solicitada se basa en un método diferencial y relativo, en cuanto a que compara valores de un histograma bimodal generado originalmente por el patrón de alto contraste empleado. De esta forma, al ser un método diferencial, su dependencia con las características de la fuente de iluminación y el grado de enfoque es significativamente menor.

Igualmente, se considera de cierta relevancia la patente EP3220101 A1. Esta patente se basa en un sistema en el que se usa un patrón con zonas transparentes y oscuras con un borde entre estas zonas bien definido. La luz se hace pasar a través de este patrón e incide en la superficie bajo test. La imagen se recoge con una cámara hiperespectral. Cada píxel de esta cámara tiene información del espectro de la luz que ha recibido y a partir de este espectro se determina un valor de la luminosidad L^* , como

indicador del brillo de cada píxel. Al final lo que se consigue es una imagen con niveles de gris. A continuación, se establece un umbral del nivel de gris para la imagen solo contenga píxeles blancos y negros. Se aplica un algoritmo para la detección del borde de separación entre la zona blanca y negra de la imagen del patrón, y se calcula la
 5 recta de mejor ajuste. A continuación, se evalúa la distorsión del borde mediante el cálculo del alejamiento de los píxeles respecto a esta recta y se calcula la desviación estándar de estas diferencias, siendo éste es el indicador que se correlaciona con la textura de la superficie.

10 En esta patente hay una segunda manifestación práctica (*embodiment*) que es una variación del algoritmo para la evaluación de la distorsión del borde, que está basado en un análisis espectral aplicando la transformada de Fourier a la imagen. Según la descripción, no se usa un patrón de Ronchi, ni la evaluación de la textura se basa en los niveles de gris de una imagen, sino en lo más o menos distorsionado que está el
 15 borde de la imagen de un patrón con un *edge-element*, es decir, con un borde bien definido. Por lo que a nuestro entender este documento no afecta las reivindicaciones de la presente invención.

Es destacable que en la patente EP3220101 A1 se incluye una ilustración en la Figura
 20 7 que, si bien comparte similitudes con las Figuras 1 y 3 de la presente invención, ésta no representa a la invención que desean proteger, sino a una configuración de un instrumento comercial, conocido como medidor de claridad, o *clarity meter* en terminología inglesa, y que ponen como ejemplo comparativo 1 para demostrar el mejor funcionamiento de su invención en comparación con éste. Además, en la
 25 descripción del funcionamiento del medidor de claridad, se indica que el patrón de bandas oscuras (*shielded*) y transparentes, en la forma de un filtro óptico neutro variable, no se proyecta sobre la superficie bajo test, sino que se desplaza delante de un fotodetector para modular la luz reflejada sobre la superficie y así obtener una señal sinusoidal a partir de la que calculan el indicador de claridad según la fórmula (1) de
 30 este documento. Se destaca esto, para evitar cualquier confusión a la vista simplemente de las ilustraciones.

Por otro lado, la patente EP 0528925 B1 basa la evaluación de la textura en la distorsión de la imagen de un patrón de puntos próximos bien definidos reflejado en la
 35 superficie bajo test y el conteo del número de puntos que pueden resolverse en esta

imagen. A mayor distorsión en la imagen, los puntos se confunden unos con otros y resulta más difícil resolverlos y por tanto contarlos. A nuestro entender esta patente no afecta a la actividad inventiva de la presente invención.

- 5 Por último, la patente US 5155558 basa la evaluación del aspecto de una superficie en el análisis espectral de las imágenes registradas con una cámara. En esta invención no se usa ningún patrón. La fuente luminosa es coherente y está filtrada espacialmente para garantizar que cualquier defecto en la imagen proviene en exclusiva de la superficie bajo test. La evaluación del aspecto de la superficie se correlaciona con las
- 10 características del espectro de densidad de potencia, que se calcula a partir de la transformada de Fourier de la imagen registrada. A nuestro entender esta patente no afecta a la actividad inventiva de la presente invención.

EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

15

La invención propuesta surge como una necesidad al desarrollo de metodologías ópticas para identificar y caracterizar las variables que conducen a la aparición de un defecto conocido como efecto niebla o nublado, en algunas partidas de acero inoxidable con acabado brillante. Este efecto se manifiesta como una pérdida en la

20 intensidad de la reflexión, especialmente al observar el reflejo de objetos oscuros y a ángulos de observación alejados de la normal, que da a este material brillante un aspecto blanquecino.

- El efecto anterior también ocurre en otros materiales reflectantes, por lo que es
- 25 igualmente válido para otros tipos de materiales reflectantes, además del acero inoxidable.

- La presente invención se refiere, por tanto, a un procedimiento óptico, sensible al fenómeno de nublado en aceros inoxidables, que permite llevar a cabo la inspección
- 30 de su calidad superficial, de forma objetiva e in-situ en su proceso de fabricación. Este procedimiento se basa en un método simple para la medida de la luminancia y la luminosidad del acero inoxidable a analizar.

- La invención se refiere además a un dispositivo que permite llevar a cabo el
- 35 procedimiento objeto de la invención.

El procedimiento objeto de la invención se sustenta en las siguientes evidencias experimentales:

- 5 1.- La imagen registrada de un patrón de alto contraste formado por zonas blancas y negras, iluminado con luz blanca, produce una imagen con un histograma del valor de luminosidad o del nivel de gris de sus píxeles, con dos bandas agudas bien diferenciadas.
- 10 2.- La imagen de este patrón reflejada sobre la superficie de un acero inoxidable se verá afectada por la rugosidad y las propiedades ópticas de este material, modificando por tanto el histograma de los valores de luminosidad de los píxeles de la imagen registrada.
- 15 3.- La presencia de rugosidad en la superficie del acero inoxidable bajo estudio aumenta el esparcimiento de la luz reflejada, afectando al contraste de la imagen registrada, lo que se traduce en un desplazamiento y ensanchamiento de las bandas correspondientes a las zonas blancas y negras del histograma de los valores de luminosidad de los píxeles.
- 20 4.- La presencia de capas dieléctricas que contribuyan al esparcimiento subsuperficial de la luz, potencia el efecto producido por la rugosidad sobre el histograma de los valores de nivel de gris de los píxeles de la imagen registrada.
- 25 5.- El valor de la luminancia, Y , y de la luminosidad, L^* , es proporcional a factores numéricos que pueden ser calculados a partir de las posiciones de las bandas del histograma de niveles de píxeles, como han comprobado los autores sobre un estudio sistemático realizado con aceros inoxidables AISI 430 BA.
- 30 Es sobre la base de las anteriores evidencias, sobre las que se propone el procedimiento objeto de la invención, basado en un método para la medida de la luminancia, Y , y de la luminosidad, L^* de materiales reflectantes, así como un aparato que permita el desarrollo del procedimiento, basado en este método.
- 35 Una realización preferida del procedimiento objeto de la invención se basa en la

medida de la luminosidad de aceros inoxidables con acabado brillante, para discriminar la calidad óptica de los acabados superficiales, empleando como indicador la distribución de frecuencias de la señal óptica registrada.

- 5 Estos materiales pueden presentar efectos de nublado en su reflexión óptica, que se caracteriza por un aumento en el valor de la luminosidad, calculado a partir de la componente difusa de la reflexión, debido al esparcimiento de la luz por la rugosidad y las características metalúrgicas de la superficie.
- 10 El dispositivo mediante el cual es posible realizar el procedimiento objeto de la invención debe contener:
- Un patrón de alto contraste.
 - Una fuente luminosa que al incidir sobre el patrón refleje su imagen sobre la superficie del material a analizar.
- 15 - Un elemento para la captación de la imagen.
- Un elemento para el registro y análisis de la imagen captada.

Mediante el dispositivo descrito, se analiza la distribución de los valores de nivel de gris de los píxeles de la imagen registrada, se determina la posición de estas bandas,

20 x_0 y x_1 , y se calcularía el factor $(x_1 - x_0)/x_0$ como indicador de la luminosidad de la componente difusa de la reflexión de esta superficie.

En una realización particular del dispositivo cabría usar como elemento de captación de la imagen una cámara a color. En tal caso se haría un procesado de la imagen a

25 color para convertirla en blanco y negro, obteniendo los valores del nivel de gris de cada píxel como la media de las coordenadas de color en el espacio de color RGB de ese píxel.

30 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

FIGURA 1. Ilustración del efecto sobre el histograma de niveles de gris de los píxeles de las imágenes correspondientes a un patrón de alto contraste tipo Ronchi.

En ella se muestra:

- 35 - La imagen directa (a) y su histograma correspondiente (b).
- La imagen del patrón reflejado en la superficie de una muestra de chapa de acero

inoxidable AISI 430 BA (c) y su histograma correspondiente (d).

FIGURA 2. Representación gráfica de la dependencia entre los valores:

- (a) De la luminancia Y , determinada a partir de la componente difusa de la reflexión óptica medida con una esfera integradora instalada en un espectrofotómetro, y el factor $((x_1 - x_0)/x_0)^{1/2}$,
- (b) De la luminosidad L^* , determinada a partir de la componente difusa de la reflexión óptica medida con una esfera integradora instalada en un espectrofotómetro, y el factor $(x_1 - x_0)/x_0$,
- (c) De la luminosidad L^* determinada a partir de la componente especular de la reflexión óptica medida con un espectrofotómetro y el factor $x_1(x_1 - x_0)$ (c), calculados a partir de las posiciones de las bandas del histograma de valores de grises de las imágenes reflejadas en un conjunto de muestras de acero inoxidable AISI 430 BA de un patrón de Ronchi, usando LEDs como fuente luminosa.

FIGURA 3. Esquema donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado una configuración del dispositivo para la medida de la luminancia, Y , y de la luminosidad, L^* , de materiales reflectantes, necesario para el desarrollo del procedimiento objeto de la invención.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

A continuación, se expone de manera detallada, el modo de realización de la invención que se basa en la medida de la luminosidad, calculado a partir de la componente difusa de la reflexión, debido al esparcimiento de la luz por la rugosidad y las características metalúrgicas de la superficie, empleando como indicador la distribución de frecuencias de la señal óptica registrada.

Según se muestra en la figura 3, un dispositivo mediante el cual es posible realizar el procedimiento objeto de la invención debe contener:

- Un patrón de alto contraste de bandas blancas y negras, tipo Ronchi (2). Para su correcto funcionamiento, este patrón debe estar orientado de modo que la normal al plano que contiene a la superficie de este patrón subtienda 30° con respecto a la normal al plano de la superficie del material a analizar.
- Una fuente luminosa (6), que al incidir sobre el patrón refleje su imagen sobre la

superficie del material a analizar. La fuente luminosa empleada para las pruebas del dispositivo fueron de tipo LED.

- Un elemento para la captación de la imagen (3), que consiste en una cámara de video monocromática, cuyo eje óptico debe estar orientado formando 30° con la normal a la superficie del material a analizar, de tal forma que su plano focal coincida con el plano de la superficie del patrón.
- Un elemento para el registro y análisis de la imagen captada (4).

Mediante el dispositivo descrito, se analiza la distribución de los valores de nivel de gris de los píxeles de la imagen registrada, se determina la posición de estas bandas, x_0 y x_1 , y se calcularía el factor $(x_1 - x_0)/x_0$ como indicador de la luminosidad de la componente difusa de la reflexión de esta superficie.

En caso de que se sustituya la cámara monocromática por una cámara a color, como elemento de captación de la imagen sería necesario una etapa adicional del procedimiento, consistente en el procesado de la imagen a color para convertirla en blanco y negro, obteniendo los valores del nivel de gris de cada píxel como la media de las coordenadas de color en el espacio de color RGB de ese píxel, es decir, $1/3(R + G + B)$.

20

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar la calidad superficial de aceros inoxidables basado en el análisis de su imagen, caracterizado por que se basa en la correlación bien entre la luminosidad, L^* de la componente de reflexión difusa de un material, o bien entre la luminancia Y^* de la componente de reflexión difusa de un material, y una métrica definida a partir de las posiciones de las bandas de un histograma bimodal de los valores de nivel de gris de los píxeles de la imagen previamente registrada, de un patrón de alto contraste tipo Ronchi reflejado en su superficie.
2. Sistema para la realización del procedimiento, según reivindicación 1, que comprende:
 - Un patrón de alto contraste de bandas blancas y negras, tipo Ronchi, orientado de forma que la normal al plano que contiene a la superficie de este patrón subtende 30° con respecto a la normal al plano de la superficie del material a analizar.
 - Una fuente luminosa que al incidir sobre el patrón refleje su imagen sobre la superficie del material a analizar.
 - Un elemento para la captación de la imagen, orientado de manera que su eje óptico forme 30° con la normal a la superficie del material a analizar, de tal forma que su plano focal coincida con el plano de la superficie del patrón.
 - Un elemento para el registro y análisis de la imagen captada.
3. Uso del procedimiento y el sistema descritos en reivindicaciones anteriores para la inspección de la calidad superficial de aceros inoxidables durante su proceso de fabricación.
4. Uso del procedimiento y el sistema descritos en reivindicaciones anteriores para identificar y caracterizar las variables que conducen a la aparición del efecto de nublado durante el proceso de fabricación de acero inoxidable.

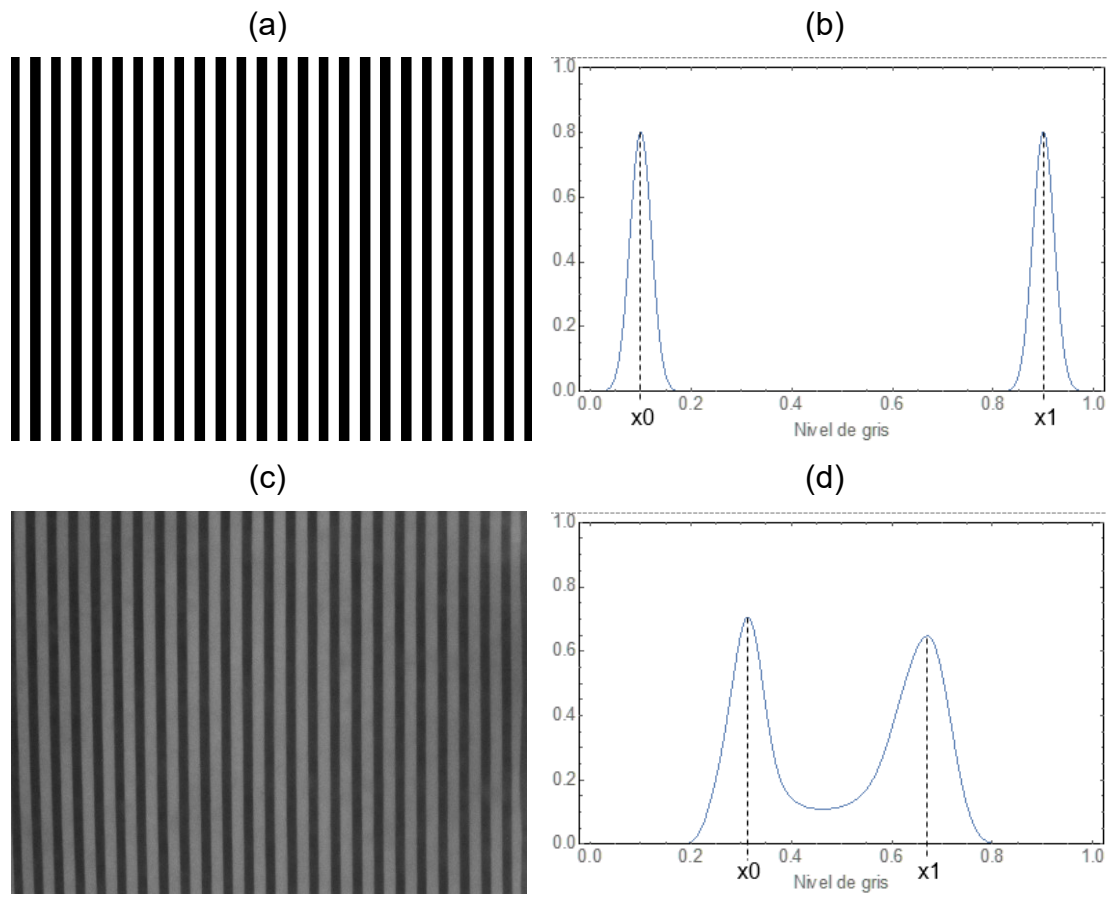


Fig. 1

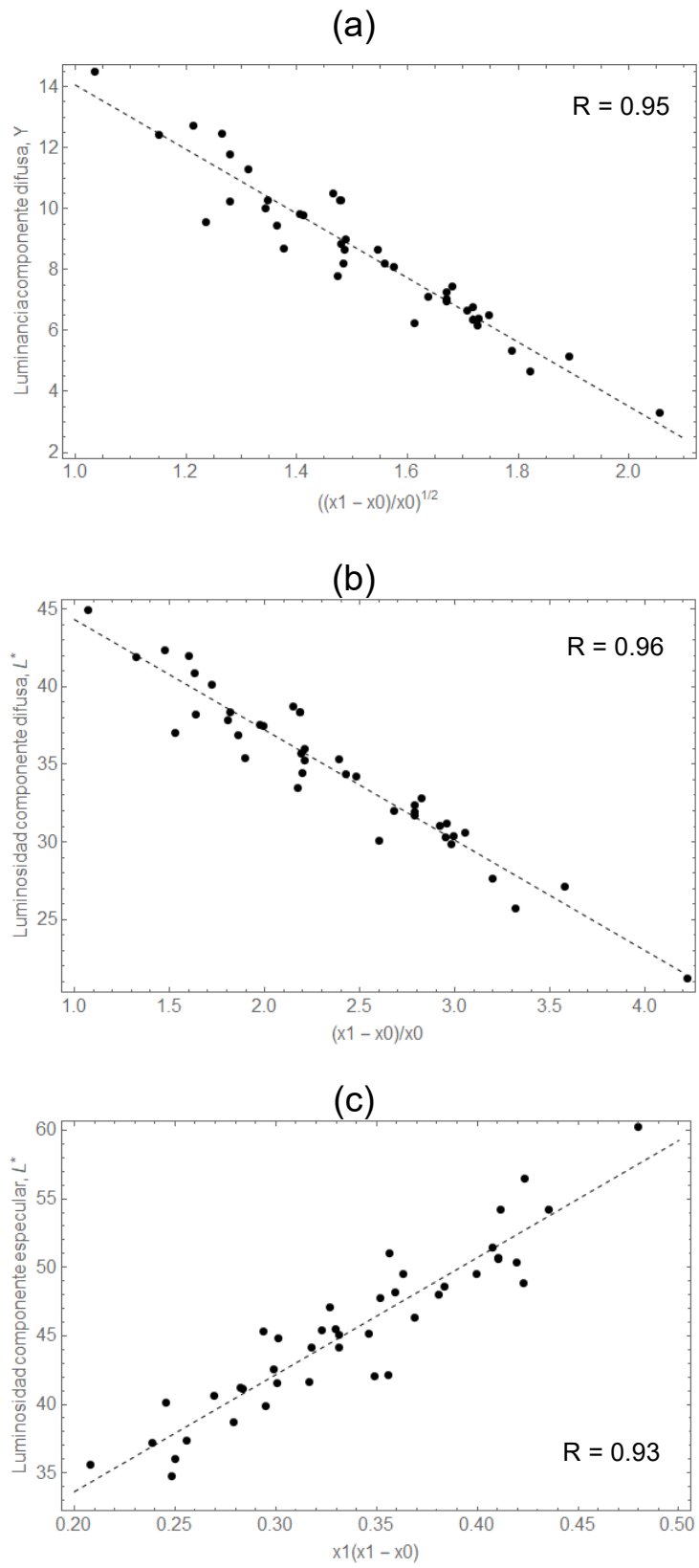


Fig. 2

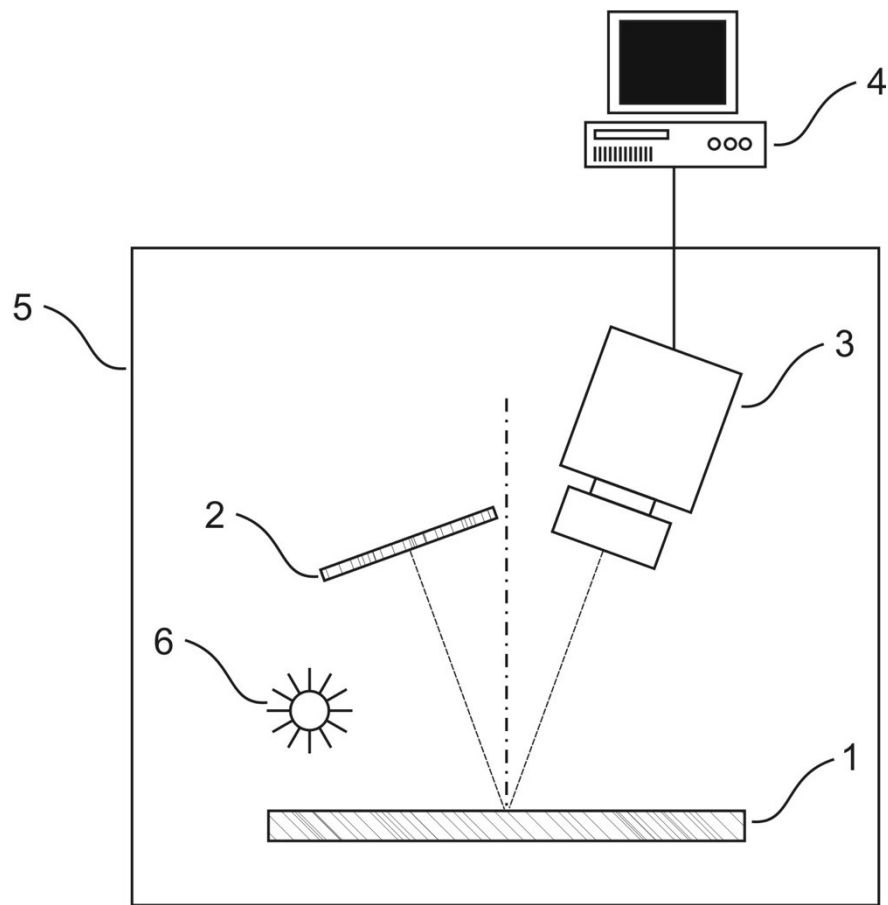


Fig. 3