

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 911 099**

21 Número de solicitud: 202131029

51 Int. Cl.:

G01M 11/02 (2006.01)

G01M 11/04 (2006.01)

G06T 5/50 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

02.11.2021

43 Fecha de publicación de la solicitud:

17.05.2022

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

24.05.2022

Fecha de concesión:

19.10.2022

45 Fecha de publicación de la concesión:

26.10.2022

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
(100.0%)**

**Avenida de Séneca, 2
28040 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

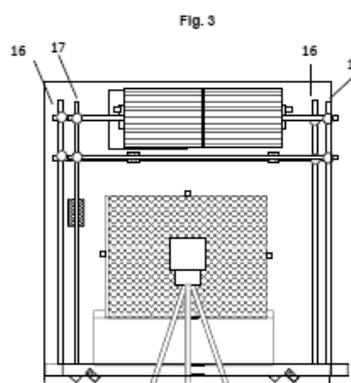
**ÁLVAREZ FERNÁNDEZ-VALBUENA, Antonio;
GÓMEZ MANZANARES, Angela;
VÁZQUEZ MOLINI, Daniel;
MAYORGA PINILLA, Santiago;
MARTÍNEZ ANTÓN, Juan Carlos y
BERNÁRDEZ VILABOIA, Ricardo**

54 Título: **Instrumento y método para calibrar la uniformidad de la iluminación con aplicación en medida de reflectancia con imágenes multiespectrales o hiperespectrales**

57 Resumen:

Instrumento y método para calibrar la uniformidad de la iluminación con aplicación en medida de reflectancia con imágenes multiespectrales o hiperespectrales.

La presente invención se refiere a un instrumento para calibrar la uniformidad de la iluminación de una muestra (9) que permite extraer el patrón de iluminación sobre una superficie desplazando la fuente de iluminación (1) con respecto a la muestra (9) a testar, que no es necesario mover, sin necesidad de utilizar una pantalla blanca calibrada cuasi lambertiana del tamaño de la muestra. El patrón obtenido se determina mediante un cálculo de diferencias entre la imagen A y la imagen B. Este patrón se puede usar para obtener la distribución de luz en una superficie cualquiera y se puede emplear para la calibración de la iluminación en medidas de reflectancia con cámaras hiperespectrales.



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 2 911 099 B2

DESCRIPCIÓN

5 **Instrumento y método para calibrar la uniformidad de la iluminación con aplicación en medida de reflectancia con imágenes multiespectrales o hiperespectrales**

SECTOR DE LA TÉCNICA

10 El instrumento propuesto se encuadra en el sector de los instrumentos de calibración de iluminación. Más concretamente se refiere al sector de calibración de iluminación incluyendo realizaciones en el sector de calibración de iluminación para cámaras multiespectrales o hiperespectrales.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

15 Las imágenes hiperespectrales y multiespectrales se emplean para el análisis exhaustivo de diferentes superficies. A partir de ellas, es posible obtener la información de reflectancia de la muestra con una precisión del tamaño del píxel del sensor de la cámara empleada. Para obtener este parámetro, se emplea la siguiente ecuación:

20

$$\rho_M(n, m) = \rho_{blanco}(n, m) \frac{I_M(n, m) - I_{oscuridad}(n, m)}{I_{blanco}(n, m) - I_{oscuridad}(n, m)}. \quad (1)$$

Donde, ρ_M es la reflectancia de la muestra en cada píxel n, m ; I_M es la imagen multiespectral o hiperespectral de la muestra; I_{blanco} es la imagen del material de referencia, típicamente blanco, necesario para realizar los cálculos de reflectancia. El material ha de ser uniforme y con valor de reflectancia calibrado previamente. ρ_{blanco} es el valor de reflectancia del material de referencia y, por último, $I_{oscuridad}$ es la imagen de oscuridad, necesaria para calibrar el ruido / fondo de los sensores.

30 Para poder calcular la reflectancia de una superficie a partir de la ecuación (1), la iluminancia, proporcionada por el sistema de iluminación, que llega a las superficies cuyas imágenes son I_M e I_{blanco} , debe ser la misma en cada punto. Para ello, el estado de la técnica se centra en desarrollar fuentes de iluminación con iluminancia altamente uniforme (Katrašnik, J., Pernuš, F., & Likar, B. (2013). *A method for characterizing illumination systems for hyperspectral imaging*. *Optics express*, 21(4), 4841-4853), o

bien, en tomar las imágenes I_M e I_{blanco} , en las mismas condiciones de iluminación, limitando el tamaño de la muestra al tamaño del blanco de calibración empleado, permitiendo de este modo omitir cualquier variación en la iluminación (US6111640A).

5 Teniendo en cuenta la imposibilidad de lograr una uniformidad absoluta sobre una superficie, sobre todo en muestras extensas, es necesario un sistema que calibre la falta de uniformidad, siendo preciso actualmente poner una superficie blanca lambertiana o cuasi lambertiana que tenga el tamaño de la muestra y esta superficie debe medirse punto a punto para conocer la distribución de luz. Tanto la invención descrita en la
 10 patente ES2795499 como el estudio de Li, J., Rao, X., & Ying, Y. (2011) (*Detection of common defects on oranges using hyperspectral reflectance imaging. Computers and Electronics in Agriculture*, 78(1), 38-48), evalúan las propiedades de diferentes alimentos mediante la obtención de reflectancia a través de la imagen hiperespectral. Para la calibración de la iluminación, en ambos estudios se emplean pantallas blancas
 15 calibradas del tamaño de la muestra.

En la patente CN111609998A se describe un método para extraer factores de la uniformidad de la luz relacionados con la lente de la cámara empleada en la medida.

20 Yoon J, Grigoriu A, Bohndiek SE. (2020) (*A background correction method to compensate illumination variation in hyperspectral imaging. PLoS ONE* 15(3): e0229502) estiman las características ópticas de la iluminación sobre la muestra a través de la normalización del perfil espectral de la fuente de luz.

25 Sawyer, T. W., Luthman, A. S., & Bohndiek, S. E. (2017) (*Evaluation of illumination system uniformity for wide-field biomedical hyperspectral imaging. Journal of Optics*, 19(4), 045301) y Ktrašnik, J., Pernuš, F., & Likar, B. (2013) (*A method for characterizing illumination systems for hyperspectral imaging. Optics express*, 21(4), 4841-4853) analizan la uniformidad luminosa sobre la muestra de diferentes fuentes de luz.

30

Son necesarios, por lo tanto, nuevos instrumentos y nuevos métodos que no requieran pantallas lambertianas del tamaño de la muestra, especialmente cuando se trata de muestras de gran tamaño.

35

EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

Instrumento y método para calibrar la uniformidad de la iluminación con aplicación en medida de reflectancia con imágenes multiespectrales o hiperespectrales

5 Para eliminar la necesidad de tener una pantalla lambertiana calibrada del tamaño de la muestra que se quiere analizar, un aspecto de la presente invención se refiere a un instrumento que permite conocer la distribución de iluminación usando la muestra que se va a testar y una tira de material uniforme calibrado en reflectancia, sin necesidad de desplazar la muestra a testar.

10

Dicho instrumento comprende, al menos, una fuente de iluminación que se acopla a una estructura rígida de manera que la fuente de iluminación puede ubicarse en, al menos, dos posiciones determinadas de la estructura mediante elementos incluidos en la propia estructura rígida. La estructura rígida está formada por dos barras de sujeción verticales, dos barras de sujeción horizontales y una base de sujeción de las barras verticales. Una 15 de las barras horizontales se utiliza para sujetar la fuente de iluminación y en la segunda barra horizontal se colocan dos telémetros para garantizar la alineación correcta de los elementos de desplazamiento de la muestra. Las barras horizontales se sujetan a las barras verticales mediante desplazadores de barra que permiten ajustar tanto la altura 20 de la fuente de iluminación como la posición de los telémetros. Además, la barra en la que se sujeta la fuente de iluminación incluye un rotador de dicha fuente con un inclinómetro. Las barras verticales están fijadas a la base de sujeción que puede alternar su posición entre, al menos, dos localizaciones predefinidas provocando el desplazamiento horizontal de la fuente de luz. En una realización preferida, la base de 25 sujeción tiene un rail formado por una parte fija que contacta con el suelo y una parte móvil; el desplazamiento de la base de sujeción se realiza deslizando la parte móvil sobre la parte fija y las dos posiciones posibles están determinadas por dos posicionadores mecánicos situados en la parte móvil del raíl y asociados a dos cajeados para la posición 1 y dos cajeados para la posición 2 practicados en la parte fija del rail. 30 Sobre la parte móvil del raíl, se incluye un tercer telémetro de manera que los 3 telémetros que incluye el instrumento de calibración conforman un plano para garantizar que la estructura rígida y la muestra que se desea analizar estén en planos paralelos. En una realización preferida, los telémetros son telémetros láser. El instrumento para calibrar la uniformidad de la iluminación incluye también un luxómetro fijado a la 35 estructura rígida, para analizar la estabilidad de la fuente de luz por detección de la luz

reflejada en la muestra bajo estudio. El luxómetro puede fijarse a una de las barras verticales de la estructura rígida, a la segunda barra horizontal, o a cualquier otro elemento de la estructura rígida.

- 5 El instrumento se completa con una tira de calibración que consiste en una lámina de un material uniforme calibrado, es decir, un material homogéneo y difusor con valor de reflectancia calibrado, y se caracteriza por tener un tamaño inferior al de la muestra bajo estudio, teniendo en cuenta que el límite inferior de dicho tamaño se corresponde con una extensión de 5 píxeles en una de las dimensiones e igual longitud que la muestra
10 en la otra dimensión.

En esta memoria descriptiva, por material uniforme calibrado se entiende un material típicamente blanco, lambertiano y con propiedades de reflectancia conocidas y constantes en toda su extensión. Cuando se habla de muestra, se refiere al elemento
15 cuya uniformidad de iluminación se desea calibrar y que puede ser de cualquier tamaño y de cualquier material. Algunos ejemplos de la variedad de materiales que se pueden evaluar, que no pretenden ser limitativos del alcance de la invención, pueden ser: tejidos, productos agrícolas, productos alimenticios, obras pictóricas, etc.

- 20 Otro aspecto de la invención se refiere a un método para calibrar la uniformidad de la iluminación en medidas de reflectancia espectral de una muestra, incluyendo muestras de grandes dimensiones, con aplicación en la captura de imágenes multi e hiperespectrales, utilizando un instrumento como el que se describe más arriba y una cámara multi o hiperespectral, que puede estar situada sobre un trípode o cualquier otro
25 tipo de soporte.

Para ello, la cámara multi o hiperespectral captura dos imágenes de la muestra a analizar, $I_A(n, m)$ e $I_B(n, m)$, variando entre ellas la posición de la fuente de iluminación en el eje horizontal o vertical de la estructura rígida mediante el desplazamiento
30 horizontal por medio del raíl de la base de sujeción o el desplazamiento vertical mediante los desplazadores de la barra que sujeta la fuente de iluminación. El desplazamiento puede ser una distancia arbitraria, siempre y cuando entre ambas imágenes haya al menos una diferencia de una fila (n) o columnas de píxeles (m).

- 35 Entendemos las imágenes como una matriz cuyos valores hacen referencia al nivel de

gris de cada píxel. Como la reflectancia de la muestra en cada píxel (n,m) no varía, puesto que es dependiente del material y su pigmento, la variación en niveles de gris entre las imágenes I_A e I_B será proporcional al cambio producido al desplazar la iluminación, podemos obtener la matriz k correspondiente al factor multiplicador que incluye la variación de iluminancia sobre la muestra, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$k(n, m) = \frac{I_A(n,m)}{I_B(n,m)}. \quad (2)$$

10 Para obtener el patrón de iluminación sobre la muestra, es necesario que exista una relación entre los píxeles de una columna (n) y la anterior $(n-1)$, en el caso de desplazamiento horizontal. De ser desplazamiento vertical, la relación sería entre cada fila (m) y la anterior $(m-1)$.

15 La relación de los píxeles por filas o columnas viene dada por la matriz K , que se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$K_n = k_{(n-1)} \cdot k_n. \quad (3)$$

20 Para obtener el patrón de uniformidad de la iluminación, la tira de calibración consistente en el material uniforme calibrado se ubica en una de las zonas laterales de la muestra que se desea analizar, en el caso en el que el desplazamiento sea horizontal, o en la zona superior o inferior de la muestra, en el caso en el que el desplazamiento sea vertical. Colocando la tira de calibración tanto en una de las zonas laterales como en la zona superior o inferior es posible evaluar ambos desplazamientos en una sola medida, aportando mayor resolución al método. El tamaño de la tira de calibración tiene un ancho de, al menos, 5 píxeles. De largo debe cubrir la extensión vertical de la muestra en el caso de que el desplazamiento sea horizontal o la extensión horizontal en el caso en el que el desplazamiento sea vertical.

30

A continuación, a través de la ecuación (4) se obtiene el patrón de uniformidad de la iluminación en unidades de niveles de gris (I_n) en cada columna de píxeles (n) que conforman la imagen. Para ello, se multiplica cada columna de píxeles (K_n) obtenidas mediante la ecuación (3), por la zona de la imagen A o B $(I_A(n, m)$ o $I_B(n, m))$, correspondiente a la tira de calibración (I_o) , obtenida a través de la media entre los

35

valores de sus 5 filas para que consista en una columna de pixeles.

$$I_n = I_o \cdot (K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n). \quad (4)$$

5 Agrupando todas las columnas (I_n) en una matriz, obtendremos como resultado el patrón de uniformidad de la iluminación en unidades de niveles de gris en cada píxel de la imagen de la muestra a analizar.

Una vez obtenido I_n es posible obtener la reflectancia de la muestra a analizar en cada
 10 columna de pixeles (ρ_n). Para ello, se divide cada columna de pixeles de $I_A(n)$ entre I_n calculado en la ecuación (4), también para columna de pixeles, y se multiplica por el valor de reflectancia de la tira de calibración lateral (ρ_o) empleada en el método, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$15 \quad \rho_n = \frac{I_A(n)}{I_n(n)} \cdot \rho_o \quad (5)$$

Agrupando todas las columnas (ρ_n) en una matriz, obtendremos como resultado la reflectancia de la muestra ($\rho_{n,m}$) a analizar punto por punto.

20 Además, para calibrar el sistema de medida, una vez determinado el patrón de uniformidad de la iluminación, este se puede convertir a unidades absolutas mediante la medición previa de la tira calibrada en unidades de iluminancia (LUX).

Por lo tanto, el método para calibrar la uniformidad de la iluminación de una muestra en
 25 medidas de reflectancia espectral utilizando el instrumento descrito en esta memoria incluye los siguientes pasos:

- a- preparar el instrumento para calibrar la uniformidad de la iluminación de una muestra:
- colocar la muestra y la cámara multi o hiperespectral cada una a un lado de la estructura rígida del instrumento de calibración, de manera que la muestra esté
 30 enfocada y dentro del campo objeto de la cámara;
 - controlar la distancia entre la estructura rígida y la muestra mediante el uso de los 3 telémetros, de manera que ambas sean paralelas;
 - evaluar la estabilidad de la fuente de iluminación sobre el plano de la muestra por señal reflejada, mediante el luxómetro;
 - 35 - posicionar la fuente de iluminación a la altura deseada moviendo la barra de

sujeción horizontal en la que está acoplada mediante los desplazadores de barra e inclinándola en el ángulo deseado mediante el rotador de la fuente de iluminación con inclinómetro;

5 - colocar la tira de calibración en posición adyacente a la muestra a analizar, bien junto a uno de los laterales de la misma (movimiento horizontal), bien en la parte superior o en la parte inferior de la muestra (movimiento vertical), bien en la zona superior o inferior y en una de las zonas laterales si se quieren evaluar ambos desplazamientos al mismo tiempo.

10 b- capturar dos imágenes, $I_A(n, m)$ e $I_B(n, m)$, con la cámara multi o hiperespectral, variando entre las dos imágenes la posición de la fuente de iluminación en el eje horizontal o vertical de la estructura rígida de manera que entre ambas imágenes haya, al menos, una diferencia de una fila (n) o una columna de píxeles (m);

c- obtener la matriz k correspondiente al factor multiplicador que incluye la variación de iluminancia sobre la muestra, según la ecuación (2);

15 d- obtener la matriz K correspondiente a la relación de los píxeles por filas y/o columnas, según la fórmula (3);

e- obtener la columna de píxeles (I_o) a través de la zona de la imagen A ($I_A(n, m)$), correspondiente a la tira de calibración;

20 f- obtener cada columna de píxeles correspondiente al patrón de iluminación sobre la muestra con valor de niveles de gris I_n empleando la ecuación (4);

g- agrupar todas las columnas del paso f para obtener el patrón de iluminación en niveles de gris;

25 h- dividir cada columna de píxeles de $I_A(n)$ entre la correspondiente columna de píxeles de I_n y multiplicar por el valor de reflectancia de la tira de calibración lateral (ρ_o), empleando la ecuación (5);

i- agrupar todas las columnas del paso h en una matriz obteniendo de este modo la reflectancia de la muestra con la uniformidad de la iluminación calibrada.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

30

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña una serie de figuras en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

35 **Figura 1.-** Instrumento para calibrar la uniformidad de la iluminación en una muestra (9)

con cámara hiperespectral (10), y fuente de iluminación (1) desplazable horizontalmente, mediante un sistema mecánico basado en raíles, en la base de sujeción (18). La distancia de la estructura rígida a la muestra está controlada mediante tres telémetros (2), y utilizando un luxómetro (5) se evalúa la estabilidad de la fuente de iluminación (1) sobre el plano de la imagen por señal reflejada.

Figura 2.- Vista lateral del instrumento para calibrar la uniformidad de la iluminación, una cámara hiperespectral (10), y una muestra (9). En esta visión del sistema se aprecia un rotador (8) de la fuente de iluminación (1) con inclinómetro.

10

Figura 3.- Desplazamiento horizontal de la fuente de iluminación (1) con respecto a la muestra (9) y a la cámara hiperespectral (10), para la captura de $I_A(n, m)$ en la posición 1 (16) y de $I_B(n, m)$ en la posición 2 (17).

Figura 4.- Patrón de uniformidad en niveles de gris extraído de una tira de calibración (15) consistente en un material blanco calibrado y uniforme (tira de calibración: T) y extraído, en las mismas condiciones luminosas, de una pintura no uniforme y con multitud de rugosidades (pintura: P). Ambas figuras cuentan con una escala en forma de gradiente para identificar el valor en niveles de gris de cada una de ellas.

20

A continuación, se proporciona una lista de los distintos elementos representados en las figuras que integran la invención:

- 1.- Fuente de iluminación
- 25 2.- Telémetro.
- 3.- Barras sujeción vertical
- 3'.- Barras de sujeción horizontal
- 4.- Parte móvil del rail de la base de sujeción (18)
- 5.- Luxómetro
- 30 6.- Desplazador de barra
- 7.- Posicionador mecánico
- 8.- Rotador de la fuente de iluminación (1) con inclinómetro
- 9.- Muestra
- 10.- Cámara multi- o hiperespectral
- 35 11.- Soporte de la muestra

12.- Cajeadado posición 1

13.- Cajeadado posición 2

14.- Trípode

15.- Tira de calibración.

5 16.- Posición 1

17.- Posición 2

18.- Base de sujeción

19.- Parte fija del rail de la base de sujeción (18).

10 REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

Ejemplo1. Instrumento para calibrar la uniformidad de la iluminación

Tal y como se representa en la figura 1, en este ejemplo, se diseñó una estructura de material rígido, en este caso hierro, con desplazamiento en rail (4) que permitió ubicar la fuente de iluminación (1), en este caso fueron dos paneles de iluminación LED, en dos posiciones definidas de forma precisa mediante dos posicionadores mecánicos (7) y dos cajeados para la posición 1 (12) y dos para la posición 2 (13) que sirven para desplazar la fuente de luz (1) 10 centímetros horizontalmente (figuras 1 y 3). Los cajeados se practicaron en la parte fija (19) de la base de sujeción (18) de la estructura rígida.

Como parte de la estructura rígida se colocaron dos barras de sujeción en vertical (3), y dos en horizontal (3'). Sobre una de las barras horizontales se colocaron dos paneles LED como fuente de iluminación (1), y sobre la segunda barra horizontal, se colocaron dos de los tres telémetros (2) que, en este ejemplo, fueron telémetros láser. Las barras horizontales (3') fueron sujetas a las barras verticales (3) mediante desplazadores de barra (6), que permitieron ajustar la altura de los paneles LED (1).

El tercer telémetro (2) se ubicó sobre la parte móvil (4) del rail, para formar un plano con los otros dos telémetros (2) y así garantizar con precisión que la estructura rígida y la muestra a analizar estén en planos paralelos.

En la barra vertical (3) de la izquierda, se colocó un luxómetro (5) para poder analizar la estabilidad de la fuente de luz (1) por detección de la luz reflejada en la muestra (9).

35

La muestra (9), en este ejemplo, fue una pintura no uniforme con un tamaño de 2 x 1.5 metros (anchura x altura) y se ubicó sobre un soporte (11) a una distancia de 2.5 metros de la estructura rígida y, por lo tanto, del sistema de iluminación LED (1). Dicho sistema de iluminación (1) se ubicó a una altura de 3.75 metros del nivel del suelo para
 5 conseguir, mediante el rotador (8) de la fuente de iluminación (1) con inclinómetro, que la luz incidiera con un ángulo de 45° sobre la muestra (9) y así disminuir la reflexión especular, la cual daría una sobreexposición en las imágenes.

Se utilizó una cámara hiperespectral (10) descrita en la solicitud de patente
 10 ES2819052A1 y se ubicó, con la ayuda de un trípode (14), a una distancia de 3 metros de la muestra (9) y a una altura de 1.25 metros del nivel del suelo para así obtener una imagen con la muestra (9) centrada. Esta distribución de los distintos elementos está esquematizada en la figura 2.

15 Para poder obtener I_o y poder proceder con los cálculos, a la izquierda de la muestra (9) se ubicó un material blanco calibrado como tira de calibración (15) de altura 1.5 metros y anchura 10 centímetros, con reflectancia 0.8 que, en este ejemplo, fue una pantalla blanca uniforme.

20 **Ejemplo 2. Método de calibración de la uniformidad de la iluminación en reflectancia**

Para llevar a cabo el método de calibración de la uniformidad de la iluminación en reflectancia, se utilizaron el instrumento y la cámara hiperespectral (10) descritos en el ejemplo 1. Primero se capturó la imagen hiperespectral A $I_A(n, m)$ en la posición 1 (16),
 25 como se muestra en la figura 3. Después, se desplazó el posicionador mecánico (7) del cajeadado 1 (12) al cajeadado 2 (13) a través de la parte móvil (4) de la base de sujeción (18) hasta la posición 2 (17). En esta segunda posición se capturó la imagen B $I_A(n, m)$. Realizando la razón entre ambas imágenes en niveles de gris se obtuvo el factor k, tal y como se describe en la ecuación (2). A continuación, empleando la ecuación (3), se
 30 relacionaron los valores de k para cada columna de pixeles con la anterior obteniendo el factor K. Mediante el factor K obtenido y I_o , correspondiente al valor en niveles de gris de la tira de calibración (15) correspondiente en $I_A(n, m)$, obtuvimos I_n . Por último, agrupando todos los valores de cada columna I_n en una matriz obtuvimos la matriz que incluye el patrón de iluminación en niveles de gris tal y como se muestra en la figura 4.

35

El instrumento descrito en el ejemplo 1 fue testado sobre una pantalla blanca uniforme como tira de calibración (15) (Figura 4 T) y sobre una muestra consistente en una pintura no uniforme, la muestra (9), (Figura 4 P). En las figuras se aprecia que en ambas situaciones se obtuvo el mismo patrón de iluminación con sus incertidumbres, validando así el instrumento descrito en esta invención.

REIVINDICACIONES

1. Instrumento para calibrar la uniformidad de la iluminación de una muestra (9) que incluye:

- 5 - una fuente de iluminación (1);
- una estructura rígida formada por dos barras de sujeción verticales (3), dos barras de sujeción horizontales (3') y una base de sujeción (18) de las barras verticales (3);
- al menos, tres telémetros (2);
- un rotador (8) de la fuente de iluminación (1) con inclinómetro;
- 10 - un luxómetro (5);
- al menos, una tira de calibración (15);

en el que la fuente de iluminación (1) se sitúa en una de las barras de sujeción horizontales (3'), con el rotador (8) de la fuente de iluminación (1) con inclinómetro, y en la otra barra de sujeción horizontal (3') se sitúan dos telémetros (2); las dos barras de sujeción horizontales (3') se sujetan a las dos barras de sujeción verticales (3) mediante desplazadores (6) de barra; las barras de sujeción verticales (3) pueden alternar su posición entre, al menos, dos localizaciones predefinidas en la base de sujeción (18); y la tira de calibración (15) consiste en una lámina de material uniforme calibrado, de tamaño inferior al de la muestra, con una extensión mínima de 5 píxeles en una de las

15 dimensiones e igual longitud que la muestra en la otra dimensión.

20

2. Instrumento según la reivindicación 1 en el que la base de sujeción (18) incluye un raíl formado por una parte fija (19) que contacta con el suelo y una parte móvil (4) que puede deslizarse sobre la parte fija (19) entre dos posiciones predeterminadas por dos

25 posicionadores mecánicos (7) situados en la parte móvil (4) del raíl y asociados a dos cajeados para la posición 1 (16) y dos cajeados para la posición 2 (17) practicados en la parte fija (19) del raíl.

3. Instrumento según la reivindicación 2 en el que el tercer telémetro se sitúa sobre la

30 parte móvil (4) del raíl.

4. Método para calibrar la uniformidad de la iluminación, mediante el instrumento definido en las reivindicaciones 1-3 y una cámara multi o hiperespectral (10), que incluye los siguientes pasos:

- 35 a- preparar el instrumento para calibrar la uniformidad de la iluminación de una muestra

(9):

- colocar la muestra (9) y la cámara multi o hiperespectral (10) cada una a un lado de la estructura rígida del instrumento de calibración, de manera que la muestra (9) esté enfocada y dentro del campo objeto de la cámara;
 - 5 - controlar la distancia entre la estructura rígida y la muestra (9) mediante el uso de los 3 telémetros (2), de manera que ambas sean paralelas;
 - evaluar la estabilidad de la fuente de iluminación (1) sobre el plano de la muestra (9) por señal reflejada, mediante el luxómetro (5);
 - 10 - posicionar la fuente de iluminación (1) a la altura deseada moviendo la barra de sujeción horizontal (3') en la que está acoplada mediante los desplazadores de barra (6) e inclinándola en el ángulo deseado mediante el rotador (8) de la fuente de iluminación (1) con inclinómetro;
 - colocar la tira de calibración (15) en posición adyacente a la muestra (9) a analizar, bien junto a uno de los laterales de la misma (movimiento horizontal),
 - 15 bien en la parte superior o en la parte inferior de la muestra (movimiento vertical), bien en la zona superior o inferior y en una de las zonas laterales si se quieren evaluar ambos desplazamientos al mismo tiempo;
- b- capturar dos imágenes, $I_A(n, m)$ e $I_B(n, m)$, con la cámara multi o hiperespectral (10), variando entre las dos imágenes la posición de la fuente de iluminación (1) en el eje
- 20 horizontal o vertical de la estructura rígida de manera que entre ambas imágenes haya, al menos, una diferencia de una fila (n) o una columna de píxeles (m);
- c- obtener la matriz k correspondiente al factor multiplicador que incluye la variación de iluminancia sobre la muestra, según la ecuación (2):
- $$k(n, m) = \frac{I_A(n, m)}{I_B(n, m)}. \quad (2);$$
- 25 d- obtener la matriz K correspondiente a la relación de los píxeles por filas o columnas, según la fórmula (3):
- $$K_n = k_{(n-1)} \cdot k_n. \quad (3);$$
- e- obtener la columna de píxeles (I_o) a través de la zona de la imagen A ($I_A(n, m)$), correspondiente a la tira de calibración (15);
- 30 f- obtener cada columna de píxeles correspondiente al patrón de iluminación sobre la muestra (9) con valor de niveles de gris I_n empleando la ecuación (4):
- $$I_n = I_o \cdot (K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n). \quad (4);$$
- g- agrupar todas las columnas del paso f para obtener el patrón de iluminación en niveles de gris;
- 35 h- dividir cada columna de píxeles de $I_A(n)$ entre la correspondiente columna de píxeles

de I_n y multiplicar por el valor de reflectancia de la tira de calibración lateral (ρ_o), empleando la ecuación (5):

$$\rho_n = \frac{I_A(n)}{I_n(n)} \cdot \rho_o \quad (5);$$

- 5 i- agrupar todas las columnas del paso h en una matriz obteniendo de este modo la reflectancia de la muestra (9) con la uniformidad de la iluminación calibrada; donde no es necesario desplazar la muestra (9).

Fig. 1

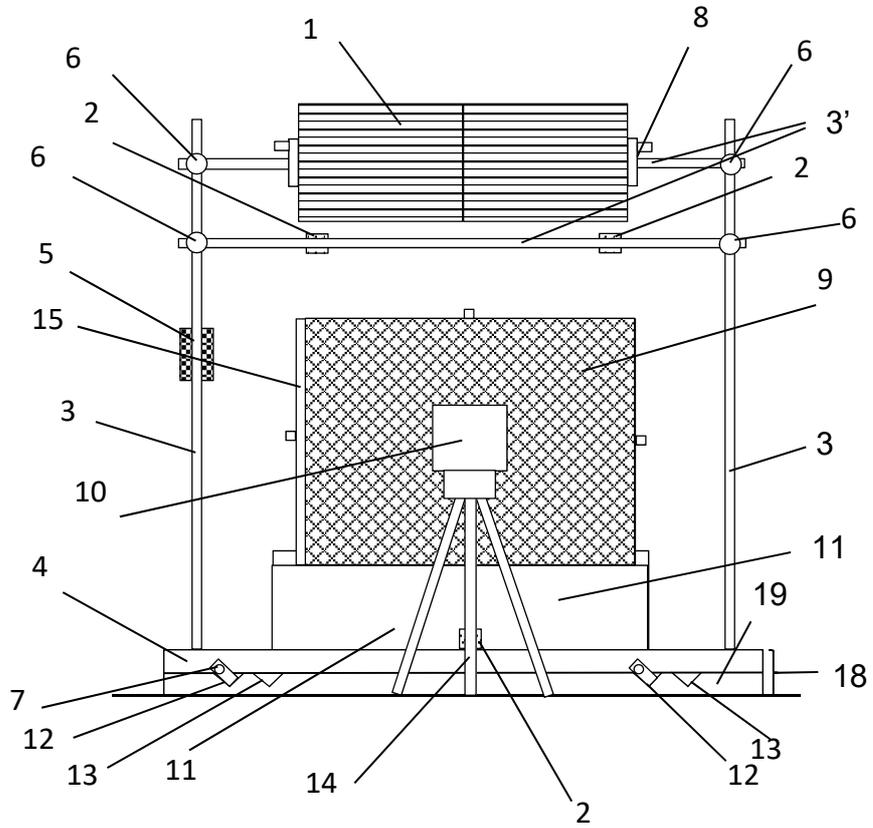


Fig. 2

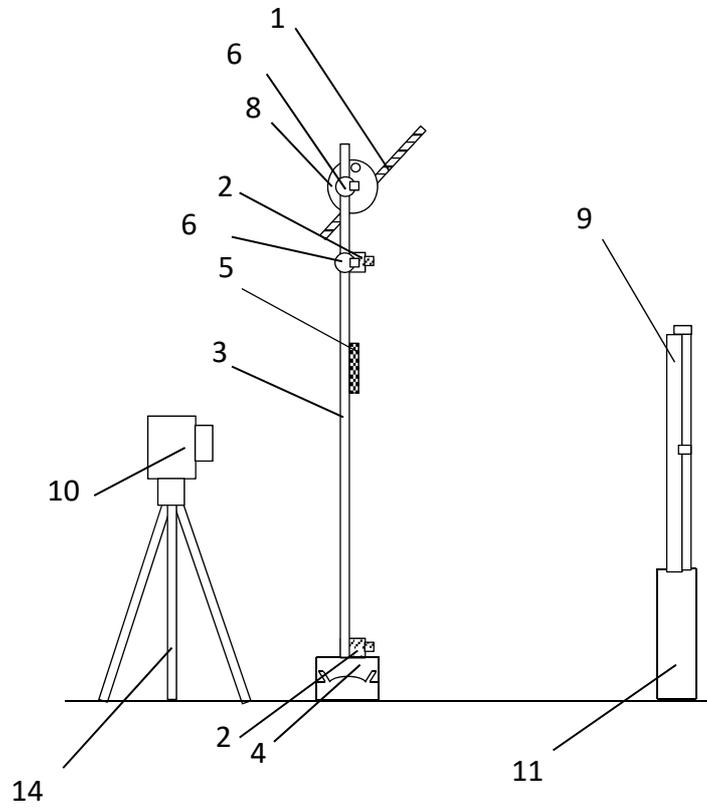


Fig. 3

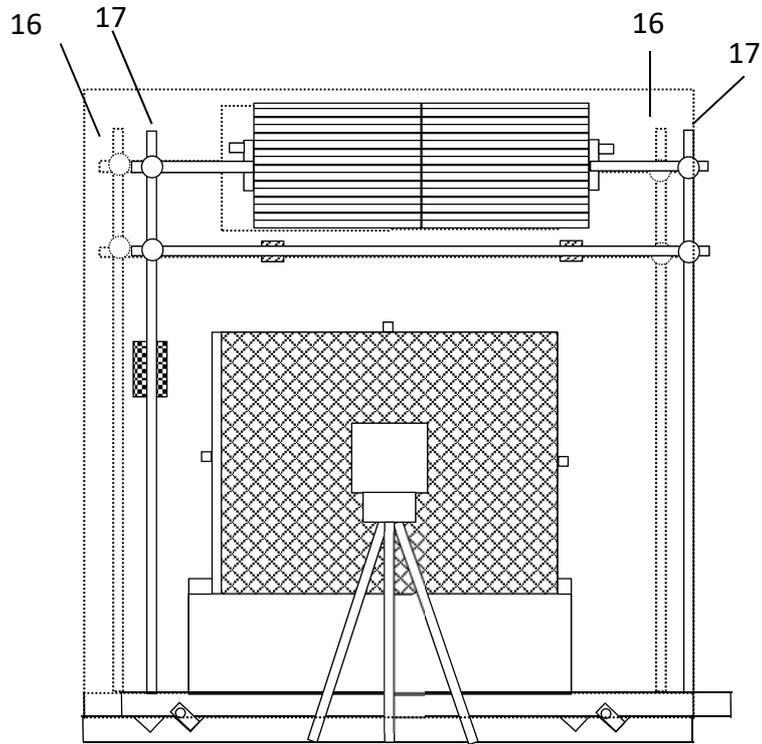


Fig. 4

