



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **3 054 232**

⑫ Número de solicitud: 202430592

⑮ Int. Cl.:

**G03B 17/56**

(2011.01)

⑫

## SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑬ Fecha de presentación:

**12.07.2024**

⑭ Fecha de publicación de la solicitud:

**30.01.2026**

⑬ Solicitantes:

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID (51,00%)**  
Av. Gregorio Peces Barba, 1  
28919 Leganés (Madrid) ES y  
**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID (49,00%)**

⑭ Inventor/es:

ARMENTEROS GALLARDO, Manuel;  
PRIETO SOUTO, Xose Antonio;  
BENÍTEZ IGLESIAS, Antonio Jesús;  
VÁZQUEZ MOLINI, Daniel;  
ÁLVAREZ FERNÁNDEZ-BALBUENA, Antonio;  
CANABAL BOUTUREIRA, Héctor Alfonso;  
MORÓN HERRERO, Izan y  
LUNA GARCÍA, Francisco

⑮ Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

⑯ Título: **SISTEMA AUTOMÁTICO DE CAPTACIÓN DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES PARA DIGITALIZAR UN OBJETO**

⑰ Resumen:

Un sistema automático de captación de imágenes multiespectrales (10) para digitalizar un objeto (11) que incluye una plataforma (1) para recibir un objeto (11) que se va a escanear; una unidad de desplazamiento robotizada (4) para moverse dentro de un volumen de espacio donde escanear una pluralidad de regiones del objeto (11); una unidad de iluminación (3) para emitir luz con una frecuencia de un rango espectral seleccionable; una unidad de captación de imágenes (5) montada sobre la unidad de desplazamiento robotizada (4); una unidad de procesamiento (2) para controlar coordinadamente la unidad de desplazamiento robotizada (4) y la unidad de captación de imagen (5), y para definir un recorrido de escaneo y una pluralidad de paradas de captación, donde la unidad de procesamiento (2) está configurada además para etiquetar y almacenar las imágenes captadas de cada región del objeto con al menos información de localización espacial y espectral.

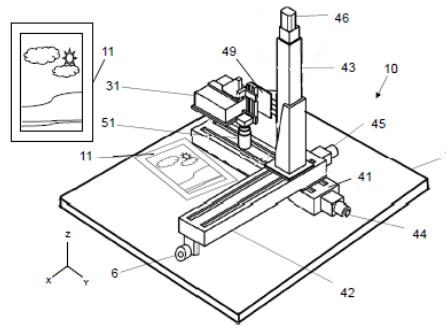


FIG. 2

## DESCRIPCIÓN

### SISTEMA AUTOMÁTICO DE CAPTACIÓN DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES PARA DIGITALIZAR UN OBJETO

5

#### CAMPO DE LA INVENCIÓN

Este sistema pertenece al campo de la digitalización de objetos, más concretamente se relaciona con la conservación y restauración de obras de Patrimonio Cultural (PC).

10

#### ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

Uno de los principales problemas que necesitan resolver los profesionales de la conservación y de la restauración de obras de Patrimonio sobre soportes planos es el acceso a detalles muy pequeños que no pueden observarse a simple vista.

15 Para obtener resultados con gran resolución y fidelidad en color y texturas, los sistemas existentes suelen trabajar con una combinación de sensores activos y pasivos, a veces utilizando microscopía o sensores de profundidad asociados.

Para reducir errores de operación, otros sistemas del estado de la técnica funcionan con cámaras o escáneres asociados a brazos robóticos que precisan sus propios 20 procedimientos de calibración.

Con métodos de fotogrametría y cierto nivel de automatización, algunos sistemas del estado de la técnica están pensados o dirigidos a corregir errores de fabricación o de procesados industriales, pero no necesitan precisión en texturas o en reproducción de color. Algunos, simplemente, no tratan de obtener digitalización en distintos espectros 25 lumínicos, lo que reviste importancia para el trabajo con obras de patrimonio desde el punto de vista de la restauración o la conservación.

Otros sistemas del estado de la técnica no están automatizados, por lo que no son capaces de abordar la digitalización de colecciones amplias en tiempos viables. Algunos otros sistemas del estado de la técnica necesitan el contacto con las obras para su 30 procesado, lo que implica una posibilidad de daño importante.

La circunstancia de trabajar para obras realizadas sobre superficies planas permite evitar técnicas como la proyección de patrones de luz estructurada, pues no se aplica a superficies reflectantes ni transparentes o translúcidas.

A la vista de las soluciones actuales, sería deseable disponer de un sistema de alta 35 precisión y fidelidad, bajo precio y sencilla operación para conseguir imágenes

multiespectrales que permitan elaborar dobles digitales de objetos como obras de patrimonio cultural (PC), y que respondan fielmente a las necesidades de análisis de conservadores y restauradores de PC, cuyos ajustes y procesos puedan aplicarse de forma automatizada.

5

## DESCRIPCIÓN BREVE DE LA INVENCIÓN

Las limitaciones y problemas identificados en el estado de la técnica son considerados 10 por la presente invención. En su forma más general, la invención se refiere a un sistema automático de captación de imágenes multiespectrales para digitalizar un objeto, según la reivindicación 1. El sistema incluye una plataforma adaptada para recibir dicho objeto, una unidad de desplazamiento robotizada para moverse dentro de un volumen de espacio donde escanear un conjunto de regiones del objeto. También incluye una 15 unidad de iluminación para emitir luz con una frecuencia de un rango espectral seleccionable y una unidad de captación de imágenes montada sobre la unidad de desplazamiento robotizada. La unidad de captación de imágenes permite captar una imagen digital de una o más regiones del objeto, con un enfoque que es función del rango espectral emitido por la unidad de iluminación. Una unidad de procesamiento en 20 el sistema controla coordinadamente la unidad de desplazamiento robotizada y la unidad de captación de imagen, y define un recorrido de escaneo con un número de paradas para la captación de las imágenes captadas que además son, etiquetadas y almacenadas incorporando información de localización espacial y espectral.

25 El sistema obtiene unos conjuntos de datos aplicables a fotogrametría y, por lo tanto, válidos para la elaboración automatizada tanto de imágenes compuestas tipo fotomosaico en 2D como de modelos en 3D. Preferentemente, los conjuntos de datos deben contener información de la geometría y la textura de los objetos PC, además de la posibilidad de añadir los metadatos con información adicional que ayuden a trazar la 30 historiografía de la pieza y las sucesivas intervenciones de especialistas.

Las ortofotografías convencionales aplicadas a objetos PC no dan muestra por sí mismas del relieve de pigmentos o de soportes. El relieve es una característica interesante para restauradores y conservadores. Ventajosamente, el sistema propuesto 35 permite obtener información sobre relieve. También evita el contacto físico directo con

los objetos. Para ello utiliza una estrategia de captura de datos basada en la fotogrametría de corto alcance mediante sensores pasivos fotográficos que siempre mantienen la distancia física de los sensores con respecto al objeto gracias a la estructura mecánica del sistema que imposibilita fehacientemente cualquier posibilidad 5 de contacto con la obra.

Los profesionales de la conservación y restauración necesitan obtener datos con gran resolución y precisión y fidelidad al color, a la geometría y a la apariencia, sin necesidad de microscopios o equipos que requieran especialización para operarlos. En varias 10 realizaciones propuestas de la invención, la resolución lograda es de al menos 5 micras.

Es deseable que puedan obtenerse descripciones solapables en espectros lumínicos visible (desde sobre 380 nm hasta sobre 750 nm), infrarrojo cercano (desde sobre 750 nm hasta sobre 1 mm) y ultravioleta (desde sobre 240 nm hasta sobre 400 nm) para 15 completar la utilidad de los datos que necesitan restauradores y conservadores de PC.

Preferentemente, para evitar errores humanos y dedicar el mínimo tiempo posible a la toma de datos es importante automatizar todas las tareas susceptibles de repetición, incluidos los cálculos de procesado de rutas y de imágenes, permitiendo la toma de 20 decisiones y el control sobre valores de exposición fotográficos, transporte de sensores, valores de solapamiento y desempeño lumínico en los distintos espectros.

Para evitar errores o costosos ajustes se deben implementar métodos de calibración intrínseca, de sensores, luminarias y ópticas, así como de calibración extrínseca, de 25 resolución, posición, escalado y caracterización de color. Estas cuestiones de calibración extrínseca pueden resolverse con marcas de referencia y marcas de colorimetría estándares. Típicamente, marcas de referencias de resolución como las basadas en el test USAF, marcas de referencias espaciales y de posición (por ejemplo, *April tags*), o marcas de referencias de colorimetría como las cartas de color. Estas 30 marcas de referencia y/o marcas de colorimetría son empleadas para calibrar la unidad de captación de imágenes o la unidad de desplazamiento robotizada.

El sistema propuesto es fácilmente escalable. Se plantean realizaciones con un número 35 de sensores acorde a la escala y la dificultad del objeto. Como ejemplo, en un prototipo

del sistema se han usado dos sensores fotográficos y se invirtió una hora en tomar los datos de una obra de 40 x 40 cm.

El sistema propuesto es compatible con técnicas de estereofotometría, basadas en el 5 uso de un par de sensores que evitan en lo posible oclusiones mientras que facilitan la referencia y el escalado por geometría epipolar. Realizaciones particulares permiten controlar automáticamente diversas configuraciones lumínicas para mejorar la reproducción fiel de las superficies y texturas del objeto. Los sistemas fotogramétricos exigen conjuntos de datos compuestos de numerosas imágenes fotográficas para 10 obtener sus nubes de puntos sin oclusiones. Son deseables métodos de automatización del tratamiento para optimización de imágenes y de optimización de su almacenado.

La unidad de captación de imágenes del sistema propuesto (puede ampliarse en tantas unidades como se consideren necesarias) mantiene una distancia fija con el objeto para 15 cada espectro. Las técnicas convencionales de enfoque óptico mecánico que proponen fabricantes de equipos fotográficos no siempre resuelven situaciones relativas a iluminantes de distinto espectro. Además, la adaptación de los elementos ópticos puede cambiar la geometría resultante de las imágenes captadas que deben solaparse y coincidir en distintas longitudes de onda del espectro.

20 El sistema propuesto automatiza la toma de decisiones para determinación de valores de exposición que son imprescindibles para lograr precisión. El sistema optimiza mediante algoritmos la profundidad de campo (dependiente del diafragma elegido), la nitidez de los bordes (dependiente de la velocidad de la exposición), y la intensidad de 25 la luz en cada disparo (evitando el ajuste de la sensibilidad, cuyo aumento introduce ruido en las imágenes).

Al mismo tiempo y para evitar una profusión exagerada de imágenes es deseable 30 seleccionar una ruta de escaneo adecuada, un número de capturas y una superficie de solapamiento. Por ejemplo, con una interfaz para introducir los parámetros deseados por restauradores y conservadores.

### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

35 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 como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

- 5 La FIG. 1 ilustra un diagrama esquemático de bloques.

La FIG. 2 ilustra una realización del sistema Automático Multiespectral de Captación de Imágenes para Digitalizar Objetos.

- 10 La FIG. 3 ilustra un diagrama de flujo del funcionamiento de una realización del sistema automático de fotogrametría multiespectral.

#### REFERENCIAS NUMÉRICAS

- 15 1 Plataforma.  
2 Unidad de procesamiento.  
3 Unidad de iluminación.  
4 Unidad de desplazamiento robotizada.  
5 Unidad de captación de imágenes que puede componerse de varias cámaras  
20 fotográficas.  
6 Rueda.  
8 Interfaz.  
10 Sistema automático de captación de imágenes multiespectrales.  
11 Objeto.  
25 20 Método para operar el sistema automático de captación.  
21 Paso para definir la configuración del sistema.  
22 Paso para validar la configuración del sistema.  
23 Paso para realizar la calibración del sistema, con referencias en escala, forma y  
posición.  
30 24 Paso para validar la calibración del sistema.  
25 Paso para definir la metodología de trabajo, número de fotos, ruta de disparos y ratio  
de superposición.  
26 Paso para realizar la optimización de imágenes, y su distribución, identificación y  
almacenamiento.  
35 27 Paso para la obtención de datos.

- 27a1 Paso para recoger datos rango espectral 1.
- 27b Paso para generar un modelo 3D.
- 27c Paso para generar una nube de puntos.
- 27d Paso para generar una malla textura.
- 5 27e Paso para generar metadatos.
- 28 Paso para la generación de un modelo 3D.
- 28 Paso para realizar la optimización del modelo 3D
- 28a Paso para introducir parámetros de trabajo
- 28b Paso para procesar datos de malla y textura.
- 10 29 Paso para validar el modelo 3D.
- 41 Primer carril horizontal.
- 42 Segundo carril horizontal.
- 43 Carril vertical.
- 44 Primer motor horizontal.
- 15 45 Segundo motor horizontal.
- 46 Motor vertical.
- 47 Motor rotatorio.

## **DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN**

- 20 La FIG. 1 representa un diagrama de bloques del sistema 10. Las flechas indican una cooperación entre componentes, bien enviando instrucciones o datos. El sistema 10 incorpora una unidad de desplazamiento robotizada 4 que se diseña para moverse relativamente respecto de unas regiones del objeto que se planean escanear.
- 25 El sistema 10 incorpora una unidad de captación 5 para captar imágenes digitales de regiones del objeto. Para guiar o dirigir la unidad de captación 5 hacia las diferentes regiones del objeto, ésta se monta sobre la unidad de desplazamiento robotizada 4. Este aspecto se apreciará en la FIG. 2.
- 30 La unidad de captación de imágenes 5, que puede estar compuesta de varias cámaras fotográficas o sensores, puede tomar imágenes de manera coordinada con la unidad de desplazamiento robotizada 4 y también con una unidad de iluminación 3 incluida en el sistema 10. Dicha unidad de iluminación 3 está diseñada, preferentemente, con leds y
- 35 es capaz de emitir luz con diferentes frecuencias. Principalmente, luz con un rango

espectral de luz visible, de luz infrarroja y de luz ultravioleta.

El sistema 10 se controla mediante una unidad de procesamiento 2 que coordina cómo debe ser el desplazamiento (p. e., en un sistema de referencia ortogonal X,Y,Z) de la 5 unidad de captación 5 —montada en la unidad de desplazamiento robotizada 4— respecto de una región concreta del objeto. Típicamente, la unidad de desplazamiento robotizada 4 cuenta con varios motores 44, 45, 46 para este propósito.

El sistema 10 puede además incorporar una interfaz de usuario 8 para introducir 10 instrucciones acerca de cómo ha de realizarse el escaneo del objeto predefiniendo ciertos parámetros de forma manual. Por ejemplo, para definir cómo han de ser las imágenes capturadas (formato, resolución, etc.). La interfaz 8 también puede mostrar por una pantalla información de la captura para guiar al usuario.

15 El sistema 10 puede emplear una serie de localizadores diferentes entre sí y de proporciones conocidas para captar las regiones del objeto y facilitar la obtención de información fotogramétrica.

El sistema 10 puede optimizar la distancia de enfoque, que es diferente para cada rango 20 de longitud de onda. El uso de un motor 46 permite acercar o alejar las cámaras en el eje vertical para conseguir la distancia de enfoque correcta en cada caso. Esta calibración de distancia cuando se hace, es previa a comenzar el escaneo, por lo que cada rango de longitud de onda tendrá asociado un valor de corrección de distancia para optimizar su enfoque.

25 El sistema 10 puede emplear, mediante un algoritmo de captura original porque considera en una calibración inicial el número de sensores, su inclinación en su caso, el número de imágenes, su resolución final, la ruta y la superposición óptimas para la obtención del suficiente detalle en las fotografías y el número de puntos homólogos 30 idóneo para entregar al software de fotogrametría. El algoritmo de captura tiene en cuenta el tamaño de la obra y el campo objeto de la cámara, con esos datos puede calcular el desplazamiento X e Y necesario para mantener la superposición indicada de forma automática. El algoritmo de captura aplica técnicas para determinar y optimizar los valores de exposición: apertura de diafragma, tiempo de exposición y ganancia para 35 las diversas longitudes de onda, y calcula la idónea para que la profundidad de campo

sea máxima en cada rango espectral, y por lo tanto la zona enfocada sea lo más amplia posible y los puntos homólogos sean más fácilmente detectables.

El sistema 10 puede, a partir de los datos en bruto obtenidos de imágenes un mosaico de Bayer captadas por los sensores 51, nombrar las imágenes y distribuirlas según su posición geométrica y el espectro lumínico con el que ha sido captada, y aplicar una compresión. Por ejemplo, una compresión para su almacenamiento definitivo y, después de aplicar una corrección de color en dos fases, una primera automática y una segunda dirigida por un especialista, para entregar al software de fotogrametría. Un algoritmo de ajuste de color (por ejemplo, desarrollado en Matlab) permite eliminar aquellos parches (colores) del patrón calibrado que no están presentes en la obra para un ajuste más preciso. Los algoritmos que suelen utilizar calibran siempre los 24 parches del patrón y el resultado del ajuste pierde fidelidad. El algoritmo de ajuste de color que se propone hace un ajuste por mínimos cuadrados mediante una función de mérito. Se buscan los cambios iterativos que van haciendo que los parches en la imagen procesada se acerquen lo máximo posible a la representación que se determina como objetiva, el proceso se repite recursivamente con un algoritmo Nelder Mead hasta encontrar la función de mérito óptima que minimiza la diferencia de la imagen procesada con el patrón.

El sistema 10 puede emplear una carta test para colocarla sobre la plataforma en posiciones establecidas e iluminarla con espectros distintos (V, UV, IR) mediante la unidad de iluminación 3. El sistema 10 puede determinar unos valores de exposición comparando la carta de test con las características dominantes de color y grado tonal del objeto que se desea escanear, y obtener así una distribución óptima de los valores de adquisición de la imagen para maximizar la información captada. Los métodos existentes no determinan los niveles de brillo máximo y mínimo (y, por lo tanto, el contraste aconsejable) para los espectros no visibles. El criterio en el algoritmo de ajuste de color además permite elegir una apertura de diagrama ( $f$ ) con el número más alto de entre los que conservan el rango dinámico predeterminado manteniendo al mínimo la velocidad de obturación, de forma que se maximiza la profundidad de campo y se minimiza el tiempo invertido para los disparos sin riesgo de que los arranques y parones de los motores emboronen los bordes de la imagen, concepto clave para obtener un máximo número de puntos útiles para la fotogrametría.

La FIG. 2 representa la realización del sistema 10. La FIG. 2 está particularmente adaptada para digitalizar objetos planos, es decir, objetos quasi bidimensionales, donde una de sus dimensiones sea muy inferior a las otras dos. Se pueden considerar objetos planos, por ejemplo, un cuadro, un tapiz, y otros con mayor volumen, como un  
5 bajorrelieve, un altorrelieve, etc.

La unidad de desplazamiento robotizada en esta realización del sistema 10 comprende tres motores 44-46 que pueden ser motores paso a paso, y están asociados a unos carriles con un recorrido máximo que puede ser el mismo o diferente para cada uno de  
10 ellos. Estas dimensiones dependen del tipo de objeto 11 que se desea escanear al igual que la forma de una plataforma 1. Dos motores horizontales 44, 45 se emplean respectivamente en un primer carril horizontal 41 y en un segundo carril horizontal 42, ambos carriles 41, 42 son rectilíneos y, preferentemente, están instalados sobre la plataforma 1, plana en esta realización y, formando un ángulo recto. Preferiblemente, el  
15 sistema 10 se usa con la plataforma 1 paralela al suelo, no obstante pequeñas variaciones de diseño permitirían otras disposiciones (p. e., verticales o inclinadas 45°, 60°, etc.), geometrías diferentes (p. e., carriles curvilíneos). El segundo carril 42 está montado sobre el primer carril 41 en un extremo y en el otro extremo cuenta con una rueda 6 para apoyar directamente sobre la plataforma 1. De manera similar, sobre el  
20 segundo carril horizontal 42 se monta un carril vertical 43 con su respectivo motor 46 asociado para desplazar verticalmente un brazo 49 donde se instala una unidad de iluminación con una o más luminarias 31 y una unidad de captación con varios sensores digitales 51, dos en esta realización. Un primer sensor 51 se coloca perpendicular a la plataforma 1 y un segundo sensor (no mostrado) puede colocarse formando el ángulo  
25 que se determine con la normal. No obstante, otros ángulos son posibles, para ello, puede incluir un soporte de ajuste para fijar otros ángulos. Así, los sensores 51 y las luminarias 31 se mueven solidariamente con la unidad de desplazamiento. Preferiblemente, los sensores 51 no incorporan filtros de infrarrojo dado que la iluminación está limitada espectralmente a bandas estrechas y, por tanto, no aparece  
30 ruido de radiación infrarroja en las imágenes en la banda visible.

Las luminarias 31 —en lugar de ir dispuestas acopladas a la unidad de desplazamiento— pueden estar fijas en la plataforma 1 en otras realizaciones. Opcionalmente, pueden incluir un mecanismo de ajuste angular para dirigir el haz de luz un cierto ángulo, por  
35 ejemplo, seleccionado en un rango de 20° a 65°, respecto a la normal de la región del

objeto que se desea escanear para evitar reflejos de luz directa debidas a la rugosidad de la superficie del mismo.

5 Preferentemente, la iluminación proporcionada por las luminarias 31 debe ser espectralmente selectiva para evitar la posibilidad de que en la imagen de un rango espectral se introduzca la radiación de otro rango espectral diferente.

10 El carril vertical 43 puede ser telescopico. Los componentes son controlados por una unidad de procesamiento (no mostrada) que se encarga, entre otras tareas, de coordinar el movimiento de un sensor 51 para recorrer el objeto 11 y captar imágenes de diferentes 15 regiones del mismo. La acción de los motores permite a los sensores 51 seguir una ruta de escaneo y añadir regiones escaneadas.

15 Para terminar de ilustrar esta realización, se describen detalles constructivos empleados en un prototipo real. El prototipo tiene unos carriles horizontales, perpendiculares entre sí, con una longitud de desplazamiento de 50 cm, de manera que se asegura un área útil de escaneado de 40 cm x 40 cm sobre la plataforma. En esta realización, estos 20 sensores de la unidad de captación son de 5.472 x 3.648 pixeles, lo que equivale a una resolución de 20 MP. Llevan acoplada una óptica de 50 mm que forma imagen sobre un sensor Sony IMX183. Las luminarias 31 se construyen con dos placas leds con circuito para UV, visible e infrarrojo con longitudes de onda de 380 nm, visible a 5000K CRI95 e IR a 940 nm. Dichas placas miden 20 x 10 cm y cada placa dispone de tres líneas de diez leds equidistantes para cada rango espectral. Para evitar el pandeo del vano producido al moverse los motores por el peso del sistema se incorpora una rueda 6 de 25 acero que se desplaza sobre la plataforma. Dicha plataforma se realiza en una plancha rectangular de aluminio donde se fija el primer carril horizontal. Esto permite a los sensores y a los leds desplazarse en las tres dimensiones del espacio (ancho: X, largo: Y, alto: Z) y manteniendo al sensor en una posición ortogonal, o aproximadamente 30 ortogonal, respecto de la región del objeto.

35 La FIG. 3 representa un diagrama de flujo con varios pasos de un método para operar el sistema 20 según una realización particular. El método 20 para operar el sistema incluye secuencialmente varios pasos. Un paso para definir la configuración del sistema 21, donde se indica, por un lado, el número de sensores 21a, características ópticas 21b y disposición 21c de cada uno; y, por otro lado, el número de luminarias 21d,

características espectrales 21e y disposición 21f de cada una.

- Tras el paso 21, sigue un paso para validar la configuración del sistema 22. Si es afirmativo, se continúa con un paso para realizar una calibración del sistema 23. Si no, 5 se vuelve al paso para definir la configuración del sistema 21.

En el paso para realizar una calibración del sistema 23 se realizan varias operaciones, entre ellas, una calibración geométrica 23a, una calibración colorimétrica 23b y una calibración relativa a la uniformidad y nivel de iluminación 23c.

- 10 Tras el paso 23, sigue un paso para validar la calibración del sistema 24. Si es afirmativo, se continúa con un paso para para definir la metodología de trabajo 25. Si no, se vuelve al paso para realizar una calibración del sistema 23.
- 15 En el paso para para definir la metodología de trabajo 25 se indica la posición de los sensores 25a, se indican los valores de exposición 25b, se optimiza el foco 25c y se define la profundidad de campo 25d.

- 20 Sigue a continuación un paso para realizar la optimización de imágenes 26, donde se realiza un ajuste de color 26a y un ajuste lumínico 26b.

Sigue a continuación un paso para la obtención de datos de digitalización 27 que incluye otro paso para recoger datos de varios rangos espectrales 27a1, 27a2, ...

- 25 Con los datos procedentes de los diversos rangos espectrales 27a1, 27a2, ... sigue un paso para generar un modelo 3D 27b, un paso para generar una nube de puntos 27c, un paso para generar una malla textura 27d y un paso para generar metadatos 27e.

Sigue a continuación un paso para realizar la optimización del modelo 3D 28 donde se introducen los parámetros de trabajo 28a, se procesan los datos 28b de malla y textura.

- 30 Sigue un paso de validación de los datos procesados 29 que si es afirmativo lleva al fin del proceso 20. Si no, lo lleva preferentemente al paso de generación de un modelo 3D 28.

- 35 En los siguientes párrafos se proporciona información adicional para una mejor comprensión de la invención.

Se pueden aplicar técnicas fotogramétricas conocidas considerando diversos factores para mejorar el resultado. De general a particular, es deseable considerar las características del entorno, las del objeto, las del procedimiento a seguir y las de los

5 objetivos de digitalización.

Las principales informaciones del objeto que pueden emplearse para optimizar la digitalización son sobre:

- dimensiones, en algún caso también habría que considerar la masa;
- forma o geometría;

10 - el material o materiales de fabricación, sobre todo en lo que tiene que ver con espesores o protuberancias;

- características de la superficie y de la pigmentación: rugosidad, texturización, recubrimientos, pilosidades, etc.;

- otras.

15

Las informaciones del procedimiento que pueden emplearse para optimizar la digitalización pueden clasificarse a su vez en varias categorías: categoría de captura fotográfica, de preprocesado de imágenes y de procesado fotogramétrico.

20 En general, se tratará de evitar huecos de información, se den estos por oclusiones, por sobre o subexposición, por defectos de foco o escasez de profundidad de campo; por falta de nitidez o por resultar borrosos; también hay que evitar aplazamientos o errores de perspectiva, ruido procedente de la falta de sensibilidad, exceso o defecto de superposición de puntos o solapamiento, errores de calibración interna a los sensores

25 o de calibraciones externas: geométrica, óptica o de color; errores de nomenclatura en ficheros o corrupciones, compresión indeseada, secuencialidad o iteraciones evitables en los procesos, ... La elección del procedimiento de captura es crucial (número de cámaras, rigs, soportes para piezas, capturas con dinámica de piezas o de sensores), así como el de las rutas y número de tomas, que idealmente debe ajustarse de forma

30 que sea suficiente pero no mucho más del necesario para no sobresaturar de datos.

Es preciso valorar el preprocesado de las imágenes, especialmente si se trabaja en formatos RAW (el proceso posterior a la captura es muy ventajoso, pero imprescindible) y alto rango dinámico (HDR). La entrega de las imágenes en las mejores condiciones

35 para los programas de software de fotogrametría es clave para reducir el consumo de

tiempo.

Los programas de cálculo fotogramétrico alinean las imágenes, detectan los puntos homólogos que aparecen en distintas fotografías y crean una nube de puntos válidos

5 para construir la geometría del modelo. Permiten retoques y modificaciones, creación de máscaras para eliminar aspectos no interesantes de las fotografías, referencias a marcadores presentes en la escena. Calculan mallas de puntos en diferentes formatos de fichero aptos para programas 3D, y distintos mapas de creación de texturas. En muchas ocasiones estos modelos obtenidos tienen geometrías excesivamente prolíjas, 10 difíciles de manejar incluso para observar en forma de previos los detalles a conservar y a corregir.

Además, es necesario considerar, por supuesto, el factor de automatización aplicado a todas las tareas que impliquen repeticiones de procesos, si es posible con interfaces

15 amigables con público y técnicos y con curvas de aprendizaje suave. Preferiblemente, esta automatización se llevaría a cabo con software libre o de código abierto. Todo esto compondría el diseño del sistema, que debería ser adecuado y conllevar conocimiento y dominio de sus componentes tanto de hardware como de software y fluidez en su aplicación. Es preciso un análisis minucioso del flujo de trabajo para identificar cuellos 20 de botella y tareas en donde se pueda ahorrar tiempo, aunque sean décimas de segundo, debido a la dimensión del encargo, ya que podrían lograrse ahorros temporales en proporciones geométricas. Esta previsión supone, además, analizar la gestión y rendimiento de procesadores lógicos (CPUs) y gráficos (GPUs) y la mejor y más optimizada gestión de los ficheros.

25

Dado que cada longitud de onda tiene una distancia de enfoque diferente se puede hacer que antes de tomar la imagen correspondiente a una longitud de onda la cámara se sitúe a la distancia óptima correspondiente. Esto también es posible hacerlo con un objetivo que tenga la distancia focal variable controlada por la unidad de procesamiento,

30 no obstante, implica un cambio en el campo captado y una mayor complejidad de procesamiento. Puede establecerse, previamente a la digitalización de la obra, la distancia de enfoque (equivalente a la distancia de los sensores a la plataforma), los Valores de Exposición (apertura del diafragma, velocidad de obturación, ganancia), el balance de blancos para equilibrar el color de la luz con el ajuste de los sensores; la ruta 35 que recorre el soporte de los sensores, el número de paradas y de capturas; la

nomenclatura y el destino de los archivos fotográficos tomados; ajustes alternativos de color para obtener imágenes con la apariencia más adecuada de acuerdo al criterio de los expertos y restauradores.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema automático de captación de imágenes multiespectrales (10) para digitalizar un objeto (11), que comprende:
  - 5 - una plataforma (1) configurada para recibir un objeto (11);
  - una unidad de desplazamiento robotizada (4) configurada para moverse dentro de un volumen de espacio donde escanear una pluralidad de regiones del objeto (11);
  - una unidad de iluminación (3) configurada para emitir luz con una frecuencia de un rangopectral seleccionable al menos entre un rangopectral de luz visible, un rango
  - 10 espectral de luz infrarroja y un rangopectral de luz ultravioleta, del objeto (11);
  - una unidad de captación de imágenes (5) montada sobre la unidad de desplazamiento robotizada (4), donde la unidad de captación de imágenes (5) está configurada para captar una imagen digital de una región del objeto (11), enfocada de acuerdo con el rangopectral emitido por la unidad de iluminación (3);
  - 15 - una unidad de procesamiento (2) configurada para controlar coordinadamente la unidad de desplazamiento robotizada (4) y la unidad de captación de imagen (5), y para definir un recorrido de escaneo y una pluralidad de paradas de captación, donde la unidad de procesamiento (2) está configurada además para etiquetar y almacenar las imágenes captadas de cada región del objeto con al menos información de localización
  - 20 espacial y espectral.
2. El sistema (10) según la reivindicación 1, donde la luz emitida por la unidad de iluminación (3) forma un ángulo seleccionable respecto de la normal de la región del objeto (11) y adapta su intensidad en función de un conjunto de valores cromáticos
- 25 obtenidos por la unidad de procesamiento (2) de una imagen captada previamente por la unidad de captación de imágenes (5).
3. El sistema (10) según la reivindicación 1 ó 2, donde la unidad de desplazamiento robotizada (4) comprende:
  - 30 - un primer carril (41) montado sobre la plataforma (1) de manera fija;
  - un segundo carril (42) montado sobre el primer carril (41) de manera móvil mediante un primer motor (44) paso a paso;
  - un tercer carril (43) montado sobre el segundo carril (42) de manera móvil mediante un segundo motor (45) paso a paso, donde la unidad de captación de imágenes (3) está
  - 35 montada sobre el tercer carril (43) mediante un tercer motor (46) paso a paso;

donde la unidad de procesamiento (2) está eléctricamente conectada con los tres motores (44-46) para controlar individualmente cada motor (44-46).

4. Sistema (10) según la reivindicación 3, donde la plataforma (1) incluye una superficie 5 plana y rígida para apoyar el objeto (11).

5. Sistema (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 5, donde el segundo carril (42) comprende una rueda de apoyo (6) para desplazarse sobre la plataforma (1) manteniendo la distancia de las cámaras al objeto (11).

10

6. Sistema (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde la unidad de captación de imágenes (5) comprende uno o más sensores (51).

15

7. Sistema (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, donde el recorrido de captura de datos y las paradas de captación se definen de forma que existe una zona de solapamiento entre imágenes captadas correspondientes a dos regiones diferentes.

20

8. Sistema (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, donde la plataforma (1) comprende un conjunto de marcas de referencia y/o marcas de colorimetría para calibrar la unidad de captación de imágenes (5) y/o la unidad de desplazamiento robotizada (4) con la unidad de procesamiento (2).

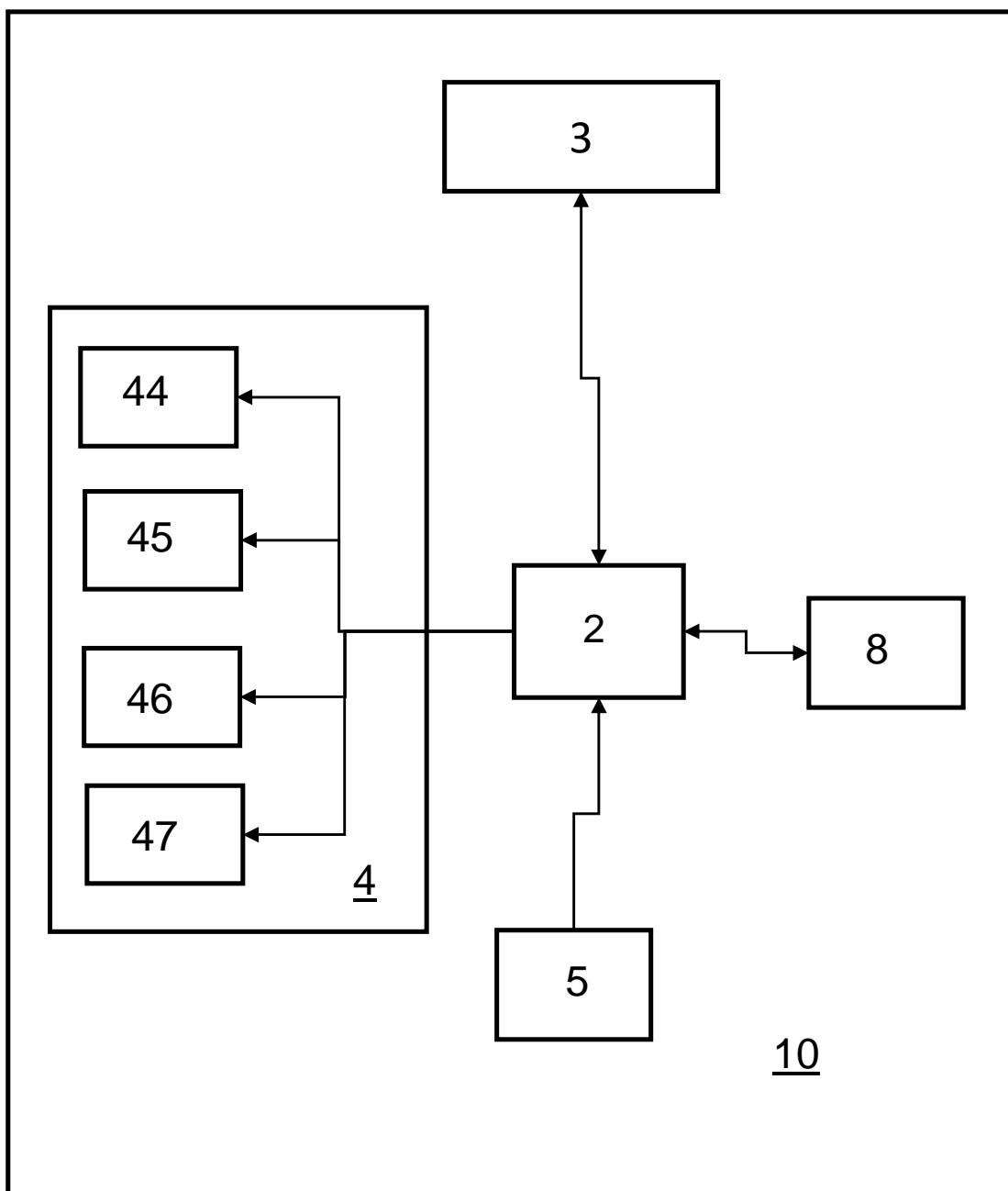


FIG. 1

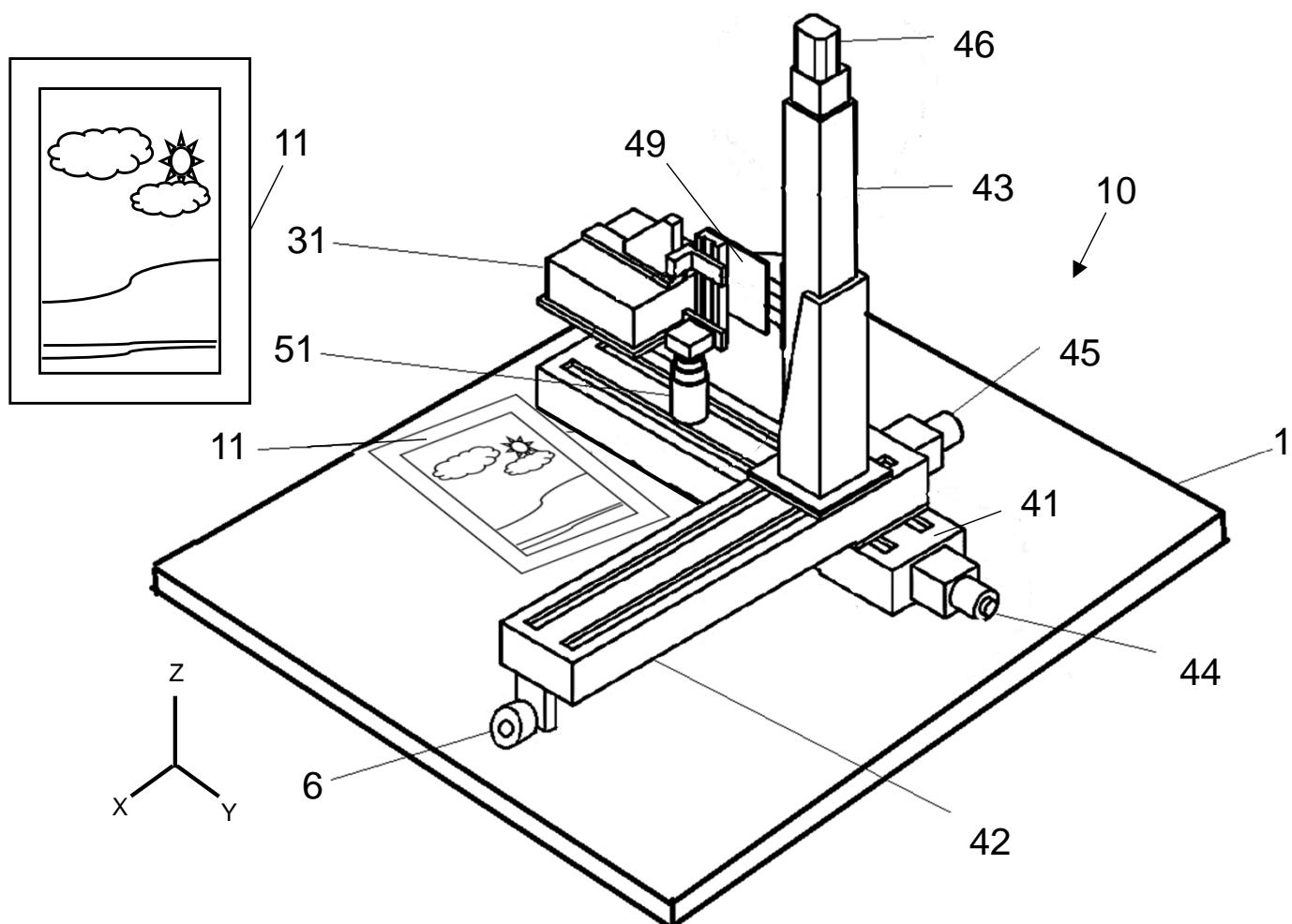


FIG. 2

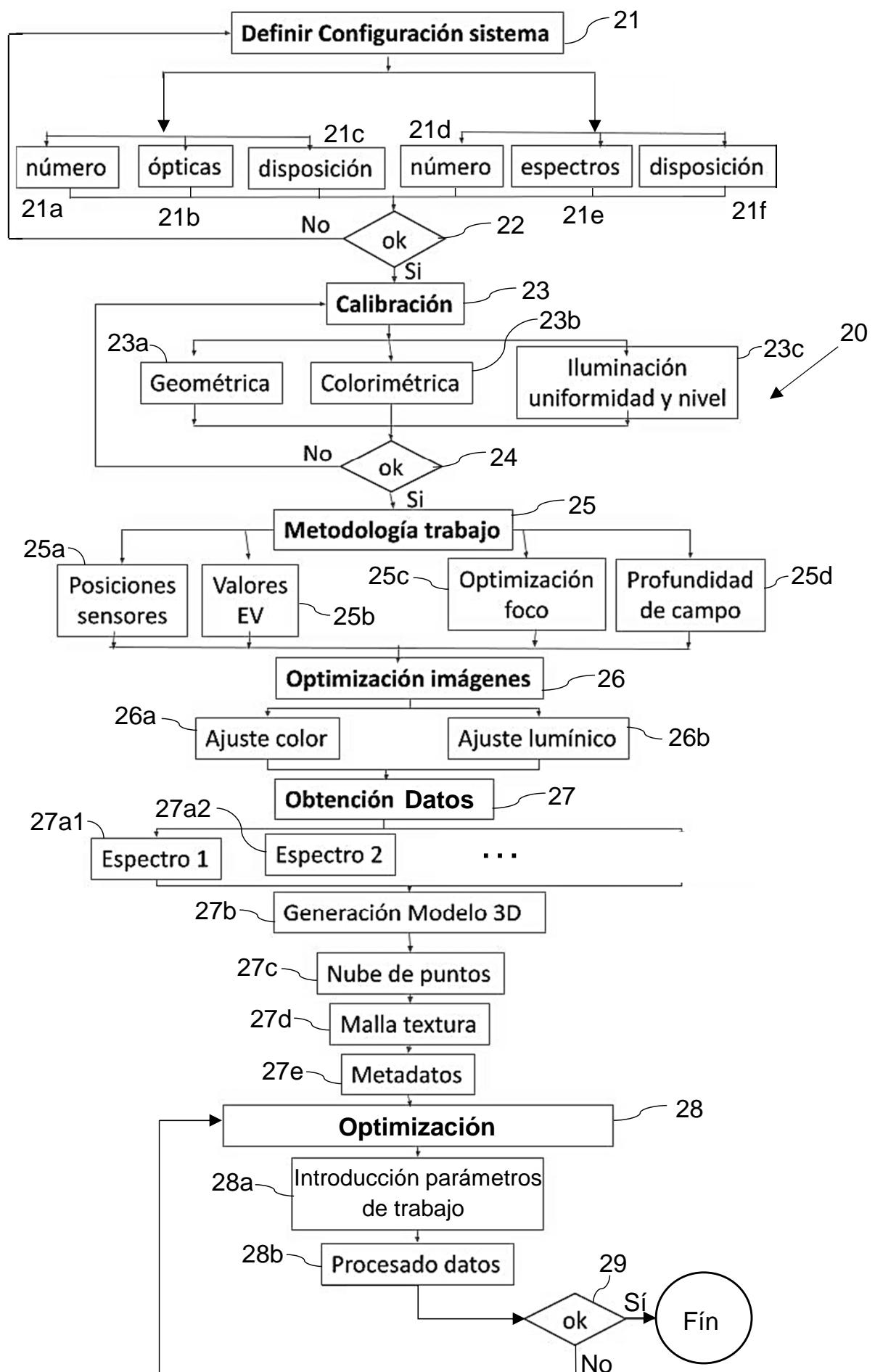


FIG. 3



②1 N.º solicitud: 202430592

②2 Fecha de presentación de la solicitud: 12.07.2024

③2 Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤1 Int. Cl.: **G03B17/56 (2021.01)**

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑥6 Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	CA 2819324 A1 (RESOLUTION ART INC) 31/05/2012, resumen; páginas 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20; figuras 3A, 3B, 4, 7, 11A.	1-8
X	CARCAGNI, P. et al.: "Multispectral imaging of paintings by optical scanning". Optics and Lasers in Engineering, 26/03/2007 [en línea] [recuperado el 14/01/2025]. Recuperado de Internet <URL: <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143816606000716">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143816606000716</a> >, <DOI: 10.1016/j.optlaseng.2005.02.010>. resumen; apartados 1-5; figuras 1, 4.	1-8
A	HEDJAM, R. et al.: "Historical document image restoration using multispectral imaging system". Pattern Recognition, 29/08/2013 [en línea] [recuperado el 14/01/2025]. Recuperado de Internet <URL: <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031320313000642">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031320313000642</a> >, <DOI: 10.1016/j.patcog.2012.12.015>. Todo el documento.	1-8

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe 14.01.2025	Examinador F. J. Domínguez Gómez	Página 1/2
--	-------------------------------------	---------------

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G03B, G06V, G06T

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, INSPEC, NPL