

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 649 488**

51 Int. Cl.:

<b>G01B 11/06</b>	(2006.01)	<b>A61B 1/273</b>	(2006.01)
<b>G01B 11/24</b>	(2006.01)	<b>A61B 1/015</b>	(2006.01)
<b>G01B 11/02</b>	(2006.01)		
<b>A61B 5/00</b>	(2006.01)		
<b>G01N 21/64</b>	(2006.01)		
<b>A61C 19/04</b>	(2006.01)		
<b>A61B 1/04</b>	(2006.01)		
<b>A61B 1/05</b>	(2006.01)		
<b>A61B 1/018</b>	(2006.01)		
<b>A61B 1/227</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.07.2009** **E 14158256 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.09.2017** **EP 2746719**

54 Título: **Sistemas y métodos para la obtención de imágenes usando absorción**

30 Prioridad:

**24.07.2008 US 83394 P**  
**01.04.2009 US 165708 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**12.01.2018**

73 Titular/es:

**MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY**  
**(100.0%)**  
**77 Massachusetts Avenue**  
**Cambridge, MA 02142-1324, US**

72 Inventor/es:

**HART, DOUGLAS;**  
**FRIGERIO, FEDERICO y**  
**MARINI, DAVIDE**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 649 488 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Sistemas y métodos para la obtención de imágenes usando absorción

## Antecedentes

5 Se han descrito diversas técnicas para la captura de mediciones de grosor, utilizando la Absorción de Emisión de Fluorescencia Inducida por Láser ("ERLIF", por sus siglas en inglés) tal como se describe, por ejemplo, en la bibliografía siguiente: Hidrovo, C, Hart, D.P., "Excitation NonLinearities in Emission Reabsorption Laser Induced Fluorescence (ERLIF) Techniques," *Journal of Applied Optics*, Vol. 43, No. 4, February 2004, pp. 894-913; Hidrovo, C, Hart, D.P., "2-D Thickness and Temperature Mapping of Fluids by Means of a Two Dye Laser Induced Fluorescence Ratiometric Scheme," *Journal of Flow Visualization and Image Processing*, Volume 9, Issue 2, June 10 2002; Hidrovo, C, Hart, D. P., "Emission Reabsorption Laser Induced Fluorescence for Film Thickness Measurement," *Measurement Science and Technology*, Vol. 12, No. 4, 2001, pp. 467-477; e Hidrovo, C, Hart, D.P., "Dual Emission Laser Induced Fluorescence Technique (DELIF) for Oil Film Thickness and Temperature Measurement," ASME/JSME Fluids Engineering Division Summer Meeting, July 23-28, 2000, Boston, MA.

15 Aunque estas técnicas existentes ofrecen un método útil para obtener mediciones de grosor, dependen de diversas mezclas de dos o múltiples tinciones fluorescentes. Sigue existiendo la necesidad de otras técnicas de medición de grosor que no requieran el uso de múltiples tinciones, así como de técnicas para adaptar las mediciones de grosor a distintos contextos físicos para la obtención de imágenes tridimensionales.

## Resumen

20 La atenuación y otras propiedades ópticas de un medio se utilizan para medir un grosor del medio entre un sensor y una superficie diana. En este documento se describen diversos medios, adaptaciones de hardware y técnicas de procesamiento que se pueden usar para capturar estas mediciones de grosor y obtener imágenes tridimensionales de la superficie diana en una diversidad de contextos de obtención de imágenes. Se incluyen técnicas generales para obtener imágenes tanto de superficies interiores/cóncavas como de superficies exteriores/convexas, así como adaptaciones específicas de estas técnicas para la obtención de imágenes de canales auditivos, la dentadura 25 humana, etc. La presente invención es un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un método para obtener datos tridimensionales que se describe en este documento incluye distribuir un medio entre una superficie diana y un sensor, teniendo la superficie diana un color predeterminado sobre una región de interés, y estando caracterizado el medio por un primer coeficiente de atenuación a una primera longitud de onda y un segundo coeficiente de atenuación diferente del 30 primer coeficiente de atenuación a una segunda longitud de onda; iluminar una ubicación en la región de interés; medir una intensidad de la primera longitud de onda y una intensidad de la segunda longitud de onda en una dirección de la ubicación con el sensor; y determinar un grosor del medio en la dirección de la ubicación en base a una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda. El medio puede incluir al menos uno de un líquido, un gas, un sólido y un gel. Cuando el medio es un gas, el método puede 35 comprender además proporcionar una barrera transparente entre la superficie diana y el sensor para retener el gas contra la superficie diana. Cuando el medio es un líquido, el método puede comprender además sumergir la superficie diana en el líquido; y colocar el sensor por encima de una superficie superior del líquido. La determinación del grosor puede incluir el cálculo de una relación entre la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda. El sensor puede medir la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda desde una pluralidad de ubicaciones dentro de la región de interés en una pluralidad correspondiente de ubicaciones de píxeles dentro del sensor, proporcionando por ello una matriz bidimensional de medidas de grosor. El método puede incluir la construcción de una imagen tridimensional de la superficie diana a partir de una pluralidad de imágenes tridimensionales de una pluralidad de regiones de interés. El color predeterminado puede ser uniforme. El color predeterminado puede ser un color específico. El color predeterminado 40 puede incluir una distribución de color. El primer coeficiente de atenuación puede ser cero. El primer coeficiente de atenuación puede ser menor que el segundo coeficiente de atenuación. La iluminación puede incluir iluminar con una fuente de luz de banda ancha. La iluminación puede incluir iluminar con una o más de una sustancia quimioluminiscente, una sustancia electroluminiscente y una guía de ondas óptica en la superficie diana. El método para obtener datos tridimensionales puede incluir filtrar una o más longitudes de onda de luz entre el medio y el 45 sensor. El método puede incluir atenuar la luz a longitudes de onda distintas de la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un producto de programa informático que se describe en este documento realiza las etapas de caracterizar un color sobre una región de interés en una superficie diana para proporcionar un color predeterminado; caracterizar un primer coeficiente de atenuación a una primera longitud 50 de onda y un segundo coeficiente de atenuación a una segunda longitud de onda de un medio distribuido entre la superficie diana y un sensor; recibir una medida del sensor en una dirección de una ubicación en la región de interés, incluyendo la medida una intensidad a la primera longitud de onda y una intensidad a la segunda longitud de onda; y calcular un grosor del medio en la dirección de la ubicación en base a una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un dispositivo que se describe en el presente documento incluye una superficie diana que tiene un color predeterminado sobre una región de interés; un sensor capaz de medir una intensidad de radiación electromagnética de una ubicación en la región de interés que incluye una intensidad a una primera longitud de onda y una intensidad a una segunda longitud de onda; un medio distribuido entre la superficie diana y el sensor, estando caracterizado el medio por un primer coeficiente de atenuación a la primera longitud de onda y un segundo coeficiente de atenuación diferente del primer coeficiente de atenuación a la segunda longitud de onda; una fuente de luz capaz de iluminar la región de interés a la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda; y un procesador programado para recibir la intensidad a la primera longitud de onda y la intensidad a la segunda longitud de onda del sensor y para calcular un grosor del medio en una dirección de la ubicación en base a una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un sistema que se describe en el presente documento incluye un medio de distribución para distribuir un medio entre una superficie diana y un sensor, teniendo la superficie diana un color predeterminado sobre una región de interés y estando caracterizado el medio por un primer coeficiente de atenuación a una primera longitud de onda y un segundo coeficiente de atenuación diferente del primer coeficiente de atenuación a una segunda longitud de onda; un medio de iluminación para iluminar una ubicación en la región de interés; un medio sensor para medir una intensidad de la primera longitud de onda y una intensidad de la segunda longitud de onda en una dirección de la ubicación con el sensor; y un medio de procesamiento para determinar un grosor del medio en la dirección de la ubicación en base a una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un sistema que se describe en este documento incluye una membrana inflable provista de una superficie; un suministro de medio que absorbe más una primera longitud de onda de luz que una segunda longitud de onda de luz, en donde el suministro está acoplado a la membrana inflable para permitir el aporte selectivo del medio a la membrana inflable; una fuente de luz capaz de iluminar la superficie de la membrana inflable; un sensor situado en el interior de la membrana inflable para medir una intensidad de la primera longitud de onda y una intensidad de la segunda longitud de onda en una ubicación de la superficie cuando la ilumina la fuente de luz; y un procesador programado para determinar un grosor del medio en una dirección de la ubicación, basado en una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda. La membrana inflable puede ser una membrana elástica. El medio puede tener un coeficiente de atenuación sustancialmente mayor para la primera longitud de onda que para la segunda longitud de onda. El medio puede incluir uno o más de un gas, un líquido y un gel. La membrana inflable puede incluir un material fluorescente dispuesto en la superficie que exhibe fluorescencia en respuesta a la fuente de luz. El sensor puede incluir un acoplamiento óptico con un dispositivo electrónico de obtención de imágenes, situado fuera de la membrana inflable. El sensor puede incluir un dispositivo electrónico de obtención de imágenes acoplado electrónicamente con el procesador. El sensor puede incluir un fibroscopio con una lente para capturar imágenes de la superficie. El procesador puede estar programado para construir una imagen tridimensional de una región de interés en la superficie, basada en una pluralidad de mediciones de grosor. El procesador puede estar programado para construir una imagen tridimensional de la superficie, basada en una pluralidad de imágenes tridimensionales de una pluralidad de regiones de interés. La superficie puede tener un color uniforme conocido. La membrana inflable puede tener una forma y dimensiones apropiadas para la inserción en un canal auditivo humano. El suministro del medio puede estar acoplado con la membrana inflable a través de una bomba. La bomba puede suministrar el medio al interior de la membrana inflable con una presión controlada. El sistema puede incluir un puerto que proporcione un espacio de acceso hacia el interior de la membrana inflable para uno o más de los medios del suministro, una fuente de energía para la fuente de luz, un suministro óptico para la fuente de luz, un acoplamiento óptico con el sensor y un acoplamiento eléctrico con el sensor. La fuente de luz puede estar situada en el interior de la membrana inflable. La fuente de luz puede ser capaz de iluminar con una o múltiples longitudes de onda electromagnéticas. La fuente de luz puede ser capaz de iluminar con una fuente de luz visible de banda ancha.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un método que se describe en este documento incluye situar una membrana inflable en una cavidad; inflar la membrana inflable con un medio que absorbe más una primera longitud de onda de luz que una segunda longitud de onda de luz; iluminar una superficie de la membrana inflable; medir una intensidad de la primera longitud de onda de luz y una intensidad de la segunda longitud de onda en una dirección de una ubicación en la superficie cuando se ilumina; y calcular un grosor del medio en la dirección de la ubicación, en base a una función de la intensidad de la primera longitud de onda de luz y la intensidad de la segunda longitud de onda. La cavidad puede ser un canal auditivo humano.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un sistema que se describe en la presente invención incluye un medio de inflado para inflar una membrana inflable con un medio que absorbe una primera longitud de onda de luz más que una segunda longitud de onda de luz; un medio de iluminación para iluminar una superficie de la membrana inflable; un medio sensor para medir una intensidad de la primera longitud de onda y una intensidad de la segunda longitud de onda en una ubicación en la superficie cuando se ilumina por los medios de iluminación; y un procesador para calcular un grosor del medio en una dirección de la ubicación en base a una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un dispositivo que se describe en el presente

documento incluye una cámara que incluye una lente y uno o más sensores capaces de capturar una imagen en color bidimensional de un campo de visión que incluye una intensidad a una primera longitud de onda y una intensidad a una segunda longitud de onda para cada una de una pluralidad de ubicaciones de píxeles en una matriz bidimensional, cada una de la pluralidad de ubicaciones de píxeles correspondientes a una dirección desde la lente hacia el campo de visión; y un procesador programado para calcular un grosor de un medio en la dirección correspondiente a cada una de la pluralidad de ubicaciones de píxeles como una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda a esa una de la pluralidad de ubicaciones de píxel, proporcionando por ello una pluralidad de medidas de grosor, el procesador programado además para calcular una imagen tridimensional de un objeto dentro del campo de visión en base a la pluralidad de medidas de grosor. El uno o más sensores pueden incluir sensores CMOS. El uno o más sensores pueden incluir dispositivos de carga acoplada. El dispositivo puede incluir una pluralidad de filtros para capturar selectivamente una intensidad de diferentes longitudes de onda a diferentes ubicaciones de la pluralidad de ubicaciones de píxeles. El uno o más sensores pueden incluir un dispositivo de obtención de imágenes de estado sólido, comprendiendo adicionalmente la pluralidad de filtros una máscara de filtro dispuesta en el dispositivo de obtención de imágenes en estado sólido. La pluralidad de filtros puede incluir una pluralidad de filtros dispuestos selectivamente entre la lente y el uno o más sensores, permitiendo por ello una serie de imágenes separadas en el tiempo, separadas en longitud de onda en cada una de la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda. La intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda se pueden calcular en cada una de la pluralidad de ubicaciones de píxeles en base a tres medidas de longitudes de onda discretas. Las tres medidas de longitudes de onda discretas pueden incluir una medida a cada una de una longitud de onda roja, una longitud de onda azul y una longitud de onda verde. Las tres medidas de longitudes de onda discretas pueden incluir una medida a una longitud de onda cian, una longitud de onda magenta y una longitud de onda amarilla. El medio puede tener al menos una superficie conocida, la al menos una superficie conocida usada para recuperar la imagen tridimensional del objeto de la pluralidad de medidas de grosor. La al menos una superficie conocida puede incluir una superficie de la lente. El dispositivo puede incluir una fuente de luz capaz de iluminar el objeto. La fuente de luz puede ser una fuente de luz de banda ancha. La fuente de luz puede incluir una fuente de luz de excitación para excitar una sustancia fluorescente dentro del medio. La fuente de luz puede incluir una fuente de luz de excitación para excitar una sustancia fluorescente dispuesta sobre una superficie exterior del objeto. El dispositivo puede incluir un filtro que forma la luz emitida desde la fuente de luz.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un método que se describe en este documento incluye recibir una imagen en color de una cámara; procesar la imagen en color para determinar, para cada uno de una pluralidad de píxeles de la cámara, una intensidad a una primera longitud de onda y una intensidad a una segunda longitud de onda; y calcular un grosor de un medio en una dirección desde la cámara correspondiente a cada uno de la pluralidad de píxeles en base a la intensidad a la primera longitud de onda y la intensidad a la segunda longitud de onda junto con un conocido coeficiente de atenuación del medio para cada una de la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda. La cámara puede proporcionar la imagen en color como una pluralidad de medidas de intensidad a una longitud de onda roja, una longitud de onda verde y una longitud de onda azul

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un producto de programa informático que se describe en este documento realiza las etapas de recibir una imagen en color de una cámara; procesar la imagen en color para determinar, para cada uno de una pluralidad de píxeles de la cámara, una intensidad a una primera longitud de onda y una intensidad a una segunda longitud de onda; y calcular un grosor de un medio en una dirección desde la cámara correspondiente a cada uno de la pluralidad de píxeles en base a la intensidad a la primera longitud de onda y la intensidad a la segunda longitud de onda junto con un conocido coeficiente de atenuación del medio para cada una de la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda. La cámara puede proporcionar la imagen en color como una pluralidad de medidas de intensidad a una longitud de onda roja, una longitud de onda verde y una longitud de onda azul.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un sistema que se describe en el presente documento incluye un medio de obtención de imágenes para capturar una imagen en color; y un medio de procesado para procesar la imagen en color para determinar, para cada uno de una pluralidad de píxeles en la imagen en color, una intensidad a una primera longitud de onda y una intensidad a una segunda longitud de onda y para calcular un grosor de un medio en una dirección desde los medios de obtención de imágenes correspondientes a cada uno de la pluralidad de píxeles en base a la intensidad a la primera longitud de onda y la intensidad a la segunda longitud de onda, junto con un conocido coeficiente de atenuación del medio para cada una de la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un método para obtener datos tridimensionales que se describe en este documento incluye distribuir un medio entre una superficie diana y un sensor, incluyendo el medio una única sustancia fluorescente que tiene un espectro de emisión de fluorescencia que se solapa en longitud de onda con un espectro de absorción distinto de cero del medio; excitar la sustancia fluorescente única para proporcionar una emisión fluorescente; medir la emisión fluorescente con el sensor en una dirección de una ubicación en la superficie diana, incluyendo medir una intensidad a una primera longitud de onda y una intensidad a una segunda longitud de onda, en el que el medio tiene un coeficiente de atenuación diferente para la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda; y determinar un grosor del medio en la dirección de la ubicación en base a una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda. El

medio puede tener absorción cero a la segunda longitud de onda. La sustancia fluorescente única puede ser fluoresceína sódica. La primera longitud de onda puede ser de alrededor de 510 nanómetros y la segunda longitud de onda es de alrededor de 540 nanómetros. La sustancia fluorescente única puede incluir puntos cuánticos. El medio puede incluir al menos uno de un líquido, un gas, un sólido y un gel. Cuando el medio es un gas, el método puede comprender además proporcionar una barrera transparente entre la superficie diana y el sensor para retener el gas contra la superficie diana. Cuando el medio es un líquido, el método puede comprender además sumergir la superficie diana en el líquido; y colocar el sensor por encima de una superficie superior del líquido. La determinación del grosor puede incluir calcular una relación entre la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda. El sensor puede medir la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda desde una pluralidad de ubicaciones sobre la superficie diana en una pluralidad correspondiente de ubicaciones de píxeles dentro del sensor, proporcionando por ello una matriz bidimensional de medidas de grosor. El método para obtener datos tridimensionales puede incluir la construcción de una imagen tridimensional de una región de interés con una pluralidad de medidas del sensor. El método puede incluir la construcción de una imagen tridimensional de la superficie diana de una pluralidad de imágenes tridimensionales de una pluralidad de regiones de interés. La excitación de la sustancia fluorescente única puede incluir dirigir una fuente de luz de banda ancha hacia la sustancia fluorescente única. La excitación de la sustancia fluorescente única puede incluir dirigir un diodo emisor de luz hacia la sustancia fluorescente única.

En un aspecto, un dispositivo que se describe en el presente documento incluye una superficie diana que tiene una región de interés; un sensor colocado para medir una intensidad a una primera longitud de onda y una intensidad a una segunda longitud de onda en una dirección de una ubicación en la región de interés; un medio distribuido entre la superficie diana y el sensor, incluyendo el medio una única sustancia fluorescente que tiene un espectro de emisión de fluorescencia que se solapa en longitud de onda con un espectro de absorción distinto de cero, en el que el medio tiene un coeficiente de atenuación diferente para la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda; una fuente de luz colocada para excitar la sustancia fluorescente única para proporcionar una emisión fluorescente; y un procesador programado para calcular un grosor del medio en la dirección de la ubicación en base a una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda. La sustancia fluorescente única puede ser fluoresceína sódica. La sustancia fluorescente única puede incluir puntos cuánticos.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un sistema que se describe en la presente invención incluye un medio de distribución para distribuir un medio entre una superficie diana y un sensor, incluyendo el medio una única sustancia fluorescente que tiene un espectro de emisión de fluorescencia que se solapa en longitud de onda con un espectro de absorción distinto de cero; un medio de iluminación para excitar la sustancia fluorescente única para proporcionar una emisión fluorescente; un medio sensor para medir la emisión fluorescente con el sensor en una dirección de una ubicación en la superficie diana, que incluye medir una intensidad a una primera longitud de onda y una intensidad a una segunda longitud de onda, en el que el medio tiene un coeficiente de atenuación diferente para la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda; y un medio de procesamiento para calcular un grosor del medio en la dirección de la ubicación en base a una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda. La sustancia fluorescente única puede ser fluoresceína sódica. La sustancia fluorescente única puede incluir puntos cuánticos.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un método para obtener datos tridimensionales que se describe en este documento incluye aplicar una capa luminiscente a una superficie diana, emitiendo luz la capa luminiscente a una primera longitud de onda y una segunda longitud de onda; distribuir un medio entre la capa luminiscente y un sensor, absorbiendo el medio la primera longitud de onda más que la segunda longitud de onda; medir una intensidad de la primera longitud de onda y una intensidad de la segunda longitud de onda en una dirección de una ubicación en la superficie diana con el sensor; y determinar un grosor del medio en la dirección de la ubicación en base a una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda. La capa luminiscente puede incluir una capa fluorescente que emite luz a la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda en respuesta a una fuente de luz de excitación, comprendiendo además el procedimiento excitar la capa fluorescente con la fuente de luz de excitación para proporcionar una emisión fluorescente de la capa fluorescente. La aplicación de la capa fluorescente puede incluir la aplicación de la capa fluorescente a la superficie diana en forma de un pigmento fluorescente en un vehículo líquido. La aplicación de la capa fluorescente puede incluir uno o más de pulverizar la capa fluorescente sobre la superficie diana, pintar la capa fluorescente sobre la superficie diana y sumergir la superficie diana en el vehículo líquido. La aplicación de la capa fluorescente puede incluir la incorporación de un pigmento fluorescente en la superficie diana durante la fabricación de la superficie diana. La fuente de luz de excitación puede proporcionar luz a una o más longitudes de onda distintas de la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda. La fuente de luz de excitación puede incluir una fuente de luz de banda ancha. La fuente de luz de excitación puede incluir un diodo emisor de luz. La capa luminiscente puede incluir una guía de ondas óptica en la superficie diana. La capa luminiscente puede incluir una capa electroluminiscente o una capa quimioluminiscente. El medio puede tener absorción cero a la segunda longitud de onda. El medio puede incluir al menos uno de un líquido, un gas, un sólido y un gel. El medio puede ser un gas, comprendiendo además el método proporcionar una barrera transparente entre la superficie diana y el sensor para retener el gas contra la superficie diana. El medio puede ser un líquido, comprendiendo además el método sumergir la superficie diana en el líquido; y colocar el sensor por encima de una superficie superior del líquido. La

determinación del grosor puede incluir el cálculo de una relación entre la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda. El sensor puede medir la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda desde una pluralidad de ubicaciones dentro de una región de interés a una pluralidad correspondiente de ubicaciones de píxeles dentro del sensor, proporcionando por ello una matriz bidimensional de medidas de grosor. El método para obtener datos tridimensionales puede incluir la construcción de una imagen tridimensional de una región de interés con una pluralidad de medidas del sensor. El método puede incluir la construcción de una imagen tridimensional de la superficie diana de una pluralidad de imágenes tridimensionales de una pluralidad de regiones de interés.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un sistema que se describe en este documento incluye un medio de aplicación para aplicar una capa luminiscente a una superficie diana, emitiendo la capa luminiscente luz a una primera longitud de onda y una segunda longitud de onda; un medio de distribución para distribuir un medio entre la capa luminiscente y un sensor, absorbiendo el medio la primera longitud de onda más que la segunda longitud de onda; un medio sensor para medir una intensidad de la primera longitud de onda y una intensidad de la segunda longitud de onda en una dirección de una ubicación sobre la superficie diana con el sensor; y un medio de procesado para determinar un grosor del medio en la dirección de la ubicación en base a una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un dispositivo que se describe en el presente documento incluye una capa luminiscente aplicada a una superficie diana, emitiendo luz la capa luminiscente a una primera longitud de onda y una segunda longitud de onda; un sensor colocado para capturar una intensidad de la primera longitud de onda y una intensidad de la segunda longitud de onda en una dirección de una ubicación en la superficie diana; un suministro de un medio, el suministro adaptado para distribuir el medio entre el sensor y la superficie diana y absorbiendo el medio la primera longitud de onda más que la segunda longitud de onda; y un procesador programado para calcular un grosor del medio en la dirección de la ubicación en base a una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un dispositivo que se describe en el presente documento incluye una membrana plegable formada alrededor de un espacio interior, volviendo la membrana plegable a una forma original en ausencia de fuerzas externas; un suministro de un medio en una forma fluida que absorbe una primera longitud de onda de luz más que una segunda longitud de onda de luz; un puerto de fluido que acopla el suministro al espacio interior de la membrana plegable, controlando el puerto de fluido una velocidad a la que el medio pasa entre el suministro y el espacio interior; y un espacio de acceso formado dentro y físicamente separado del espacio interior de la membrana plegable, el espacio de acceso definido por una carcasa rígida que incluye al menos una zona transparente e incluyendo el espacio de acceso un puerto de acceso para acceder al espacio de acceso desde fuera de la membrana plegable. El puerto de fluido puede incluir una membrana porosa. El puerto de fluido puede incluir una válvula ajustable para controlar de forma ajustable la velocidad a la que el medio pasa entre el suministro y el espacio interior. El dispositivo puede incluir una tapa blanda y flexible en un extremo de la membrana plegable. El dispositivo puede incluir una fuente de luz que tiene la forma y tamaño para su inserción en el espacio de acceso a través del puerto de acceso. El dispositivo puede incluir un dispositivo de obtención de imágenes que tiene la forma y tamaño para su inserción en el espacio de acceso a través del puerto de acceso, configurado el dispositivo de obtención de imágenes para capturar imágenes a la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda. El dispositivo puede incluir un retenedor que retiene mecánicamente la membrana plegable en una forma comprimida. La forma comprimida se puede dimensionar para su inserción en un oído humano. El medio puede incluir un solo colorante fluorescente. El medio puede incluir dos o más colorantes fluorescentes.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un dispositivo que se describe en el presente documento incluye una membrana expandible formada alrededor de un espacio interior; un suministro de un medio en forma de fluido que absorbe una primera longitud de onda de luz más que una segunda longitud de onda de luz, siendo el suministro capaz de suministro presurizado del medio; un puerto de fluido que acopla el suministro al espacio interior de la membrana expandible; y un espacio de acceso dentro del espacio interior de la membrana expandible definido por una envoltura rígida transparente que separa el espacio de acceso del espacio interior de la membrana expandible, incluyendo el espacio de acceso un puerto de acceso para el acceso externo al espacio de acceso. El suministro puede suministrar el medio desde un recipiente elástico presurizado. El suministro puede incluir un control de usuario para una aplicación manual de presión para suministrar el medio a la membrana expandible. El puerto de fluido puede incluir una válvula para controlar el suministro del medio al espacio interior. El dispositivo puede incluir una tapa plegable blanda en un extremo de la membrana expandible. El dispositivo puede incluir una fuente de luz que tiene la forma y tamaño para su inserción en el espacio de acceso a través del puerto de acceso. El dispositivo puede incluir un dispositivo de obtención de imágenes que tiene la forma y tamaño para su inserción en el espacio de acceso a través del puerto de acceso, estando configurado el dispositivo de obtención de imágenes para capturar imágenes a la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda. La membrana expandible puede tener una forma comprimida que es de la forma y tamaño para su inserción en un oído humano.

En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un método que se describe en la presente invención incluye proporcionar una membrana plegable que vuelve a una forma original sin fuerzas externas, teniendo la membrana plegable un espacio interior; comprimir la membrana plegable en una forma y tamaño para encajar en un

5 conducto auditivo humano; retener la membrana plegable en la forma y tamaño con un retenedor; y acoplar el espacio interior a un suministro de un medio en una forma fluida que absorbe una primera longitud de onda de luz más que una segunda longitud de onda de luz, en el que el espacio interior está acoplado al medio a través de un puerto que restringe el flujo del medio el espacio interior. El método puede incluir retirar el retenedor de la membrana plegable e insertar la membrana plegable en el conducto auditivo humano.

10 En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, una composición que se describe en este documento incluye un vehículo formado de un medio fluido transparente; y una pluralidad de nanopartículas de oro uniformemente distribuidas dentro del vehículo, la pluralidad de nanopartículas de oro adaptadas para absorber energía óptica dentro de una banda predeterminada de longitudes de onda de luz visible. La pluralidad de nanopartículas de oro se puede adaptar usando una forma de la pluralidad de nanopartículas de oro. La pluralidad de nanopartículas de oro se puede adaptar usando un tamaño de la pluralidad de nanopartículas de oro. La pluralidad de nanopartículas de oro puede tener una concentración dentro del vehículo tal que la composición tenga una atenuación cero fuera de la banda predeterminada. La banda predeterminada puede estar entre 450 nanómetros y 550 nanómetros. El vehículo puede ser uno o más de un aceite, un gel, un gas y un líquido. El vehículo puede incluir un aceite de silicio. El vehículo puede incluir un glicerol. El vehículo puede ser curable. El vehículo puede ser biocompatible.

20 En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, una composición que se describe en este documento incluye un vehículo formado de un medio fluido transparente; y un colorante uniformemente distribuido dentro del vehículo, consistente en un colorante fluorescente único que tiene un espectro de absorción sobre el que el colorante absorbe luz y un espectro de emisión en el que el colorante fluoresce, teniendo el espectro de absorción y el espectro de emisión una región distinta de cero que se solapa. El vehículo puede ser uno o más de un aceite, un gel, un gas y un líquido. El vehículo puede incluir un aceite de silicio. El vehículo puede incluir un glicerol. El colorante puede ser fluoresceína sódica. El vehículo puede ser curable. El vehículo puede ser biocompatible. El colorante se puede encapsular en nanopartículas de sílice. El espectro de absorción puede tener un pico dentro de un intervalo de luz visible. El espectro de emisión puede tener un pico dentro de un intervalo de luz visible.

30 En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un dispositivo que se describe en el presente documento incluye una bandeja de obtención de imágenes que tiene un fondo y una pared lateral que forman una superficie interior de dimensiones conocidas; y un medio dispuesto dentro de la superficie interior, el medio capaz de ceder para formar una impresión de un objeto insertado en la bandeja de obtención de imágenes, en el que el medio absorbe una primera longitud de onda de luz más que una segunda longitud de onda de luz. La bandeja de obtención de imágenes puede ser de la forma y tamaño para su uso como una bandeja de registro de mordida. El medio puede ser capaz de curar para retener la impresión cuando el objeto se retira de la bandeja de obtención de imágenes. La bandeja de obtención de imágenes puede incluir una pluralidad de puntos de referencia en ubicaciones conocidas dentro de la bandeja de obtención de imágenes. La pluralidad de puntos de referencia puede proporcionar elementos de identificación visibles a un sistema de obtención de imágenes. Al menos uno de las paredes laterales y el fondo pueden ser transparentes. La superficie interior puede incluir una superficie fluorescente. La superficie interior puede tener un color uniforme conocido. El dispositivo puede incluir una fuente de luz para iluminar el medio. El dispositivo puede incluir una cámara adaptada para capturar una o más imágenes del medio a la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda. El dispositivo puede incluir un procesador programado para usar la una o más imágenes, en vista de las dimensiones conocidas de la superficie interior, para determinar una forma del objeto. El procesador se puede programar para determinar una relación de una intensidad de la primera longitud de onda y una intensidad de la segunda longitud de onda en una o más direcciones. La relación se puede usar para determinar un grosor del medio en la una o más direcciones. El medio puede incluir un solo colorante fluorescente. El medio puede incluir una pluralidad de colorantes fluorescentes.

45 En un aspecto, que no forma parte de la presente invención, un método que se describe en la presente invención incluye disponer un medio dentro de una bandeja de obtención de imágenes que tiene una superficie interior de dimensiones conocidas, el medio capaz de ceder para formar una impresión de un objeto insertado en la bandeja de obtención de imágenes y absorbiendo el medio una primera longitud de onda de luz más que una segunda longitud de onda de luz; insertar el objeto en la bandeja de obtención de imágenes; iluminar la superficie interior de la bandeja de obtención de imágenes; capturar una imagen de la superficie interior a la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda; y procesar la imagen para determinar un grosor del medio en una dirección de la superficie interior. El método puede incluir obtener una pluralidad de medidas de grosor para una pluralidad de direcciones hacia la superficie interior; y aplicar la pluralidad de medidas de grosor, en vista de las dimensiones conocidas de la superficie interior, para determinar una forma tridimensional del objeto. El método puede incluir proporcionar una pluralidad de puntos de referencia dentro de la bandeja de obtención de imágenes; capturar una imagen de referencia de la pluralidad de puntos de referencia; y usar la imagen de referencia para determinar una posición y orientación tridimensional de la bandeja de obtención de imágenes. La principal imagen de referencia es la imagen de la superficie interior a la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda. Insertar el objeto en la bandeja de obtención de imágenes puede incluir insertar la dentadura humana en una bandeja de registro de mordida.

**Breve descripción de los dibujos**

La invención y la siguiente descripción detallada de ciertas realizaciones de las mismas se pueden entender haciendo referencia a las siguientes figuras:

- Fig. 1 muestra un sistema de obtención de imágenes tridimensionales.
- 5 Fig. 2 muestra los espectros de emisión y absorción para fluoresceína sódica.
- Fig. 3 muestra un sistema de obtención de imágenes tridimensionales que utiliza una superficie luminiscente aplicada a un objeto.
- Fig. 4 muestra un sistema de obtención de imágenes tridimensionales que utiliza una superficie pasiva aplicada a un objeto.
- 10 Fig. 5 es un diagrama de flujo de un método para la obtención de imágenes tridimensionales que utiliza una capa fluorescente aplicada a una superficie diana de un objeto.
- Fig. 6 es un diagrama de flujo de un método para la obtención de imágenes tridimensionales que utiliza una sola tinción fluorescente.
- Fig. 7 es un diagrama de flujo de un método para la obtención de imágenes tridimensionales basado en la absorción.
- 15 Fig. 8 ilustra un método para la obtención de imágenes tridimensionales, equipado con un ordenador, que utiliza la técnica descrita anteriormente.
- Fig. 9 muestra un método para usar una sola cámara para medir el grosor.
- Fig. 10 ilustra una adaptación de las técnicas descritas en este documento para obtener imágenes de un espacio interior tal como un canal auditivo humano.
- 20 Fig. 11 es un diagrama de flujo de un método para la obtención de una imagen tridimensional de un espacio interior.
- Fig. 12 muestra una vejiga auto-inflable para utilizar en mediciones interiores.
- Fig. 13 es un diagrama de flujo de un método para utilizar una vejiga auto-inflable para capturar imágenes tridimensionales de un espacio interior.
- Fig. 14 ilustra una adaptación de las técnicas descritas en este documento para capturar una imagen tridimensional de un objeto tal como la dentadura humana.
- 25 Fig. 15 es un diagrama de flujo de un método para capturar una imagen tridimensional tal como la dentadura humana, basado en las técnicas descritas en este documento.

**Descripción detallada**

30 En este documento, se describen diversas técnicas para obtener mediciones de grosor a partir de un medio en forma de película, líquido, gel, gas u otra forma, basadas en la relación entre una intensidad de luz medida a dos o múltiples longitudes de onda. Igualmente, se describen en este documento diversas técnicas para capturar tales mediciones de grosor en volúmenes interiores (tales como canales auditivos), volúmenes exteriores (tales como dientes), etc. para usarlas en una reconstrucción tridimensional. En general, los sistemas y métodos que se describen más adelante usan la Ley de Beer-Lambert para la absorción de luz en un medio y, de manera más particular, las derivaciones basadas en la Ley de Beer-Lambert en las que una longitud de onda está más atenuada que otra a medida que pasa a través de un medio. Por medio del control de las fuentes de luz y de las propiedades del medio, se puede utilizar esta atenuación diferencial para determinar la distancia recorrida por la luz a través de un medio hasta un sensor. Más adelante se ofrecen aplicaciones más específicas de este principio general, que sirven para definir distintas variaciones de una nueva técnica de medición de distancias, basada en la atenuación diferencial de diversas longitudes de onda.

45 A lo largo de esta descripción, se usa el término “absorción” para describir una atenuación de energía, tal como energía electromagnética, que se propaga a través de un medio. Esta atenuación puede estar causada por la absorción física en el medio, o por cualquier otro fenómeno físico (tal como la dispersión) o combinación de fenómenos que dan como resultado un descenso mensurable de la intensidad de una señal a medida que atraviesa el medio. Por ejemplo, se entenderá que en algunas realizaciones - tales como los que implican el uso de nanopartículas de oro como se describe en este documento - “absorción” es el resultado de múltiples eventos de dispersión inelástica. De este modo, tal como se usa en este documento, la absorción se debe comprender en general como referida a cualquier forma o causa de atenuación (o su ausencia), excepto que se indique expresamente o resulte evidente del contexto un significado más específico.

En la siguiente descripción, se utilizan indistintamente expresiones tales como grosor, cálculo de grosor y medición del grosor para describir los grosores que se determinan empleando las técnicas descritas en este documento. En general, no se debe asignar ningún significado particular a los términos “medición” y “cálculo” y el uso de uno u otro, o de referencias similares para “determinar”, “calcular” u “obtener” una medición de grosor no pretende implicar ninguna diferencia entre las formas en que se puede determinar el grosor. Más bien, se debe entender que todas esas referencias al grosor incluyen todas las técnicas descritas en este documento para determinar el grosor de un medio o la longitud de una trayectoria óptica que lo atraviesa, a menos que se indique expresamente un significado más específico.

A lo largo de esta descripción, se utilizan diversos términos de descripción cuantitativa y cualitativa. Estos términos no pretenden establecer límites numéricos estrictos para las características descritas, sino más bien se deben interpretar como que permiten cierta variabilidad. De esta forma, por ejemplo, cuando se indica que un medio es transparente a una determinada longitud de onda, más que absolutamente transparente con respecto a los límites de medición o para la percepción humana, se debe entender que significa que es sustancialmente transparente o suficientemente transparente para permitir mediciones que proporcionen cálculos precisos de grosor. Del mismo modo, cuando se describe que una superficie diana tiene color uniforme o se señala que una tinción emite fluorescencia a una longitud de onda determinada, no se debe interpretar que se excluye la variabilidad típica de cualquier material o proceso de fabricación convencional. De esta forma, en la descripción siguiente se deben interpretar todos los términos descriptivos y valores numéricos en su sentido más amplio dentro de lo que permite la naturaleza de la invención, y el experto en la técnica los deberá entender teniendo en consideración intervalos de variabilidad compatibles con la utilización adecuada de los conceptos inventivos que se describen en este documento, a menos que se indique expresamente un significado diferente, o éste se pueda deducir claramente del contexto.

En la descripción siguiente, se usa la expresión longitud de onda para describir una característica de la luz u otra energía electromagnética. Se entenderá que la expresión longitud de onda puede hacer referencia a una longitud de onda específica, como ocurre cuando la descripción se refiere a una frecuencia central o a un límite o delimitación para un intervalo de frecuencias. Asimismo, o de manera alternativa, la expresión puede referirse a un banda de longitudes de onda, como es el caso cuando se especifica una longitud de onda para un sensor, píxel o similar. De este modo, en general, la expresión longitud de onda, como se usa en este documento, se entenderá como referida tanto a una longitud de onda específica como a un intervalo de longitudes de onda, a menos que se indique expresamente un significado diferente, o éste se pueda deducir claramente del contexto.

Fig. 1 muestra un sistema de obtención de imágenes tridimensionales que no forma parte de la presente invención. El sistema 100 puede emplear un medio fluorescente entre un objeto y una cámara, si bien se apreciará fácilmente que es posible usar una variedad de medios, sensores y otros componentes. El sistema 100 puede incluir una fuente de excitación 102 con un filtro de fuente 104, un medio 106, un objeto 108 con una superficie diana 110, un sensor 112 con un filtro de sensor 114, y un ordenador 116. En su funcionamiento general, la fuente de excitación 102 ilumina el objeto 108 a lo largo de una trayectoria de iluminación óptica 118 a través del medio 106, y el sensor 112 captura la luz reflejada desde el objeto 108 sobre una trayectoria óptica de retorno 120 a través del medio 106. La señal resultante en el sensor 112 se puede procesar por medio del ordenador 116 para obtener mediciones de grosor del medio 106, las cuales se pueden procesar adicionalmente para obtener una imagen tridimensional del objeto 108. Se entenderá que son posibles numerosas variaciones, adiciones, omisiones y modificaciones, todo ello según se ha descrito en los diversos ejemplos detallados expuestos a continuación.

La fuente de excitación 102 puede ser cualquier fuente de luz adecuada. Puede incluir diodos emisores de luz, bombillas o lámparas incandescentes o cualquier otra fuente de luz de banda ancha, fuente de luz visible de banda ancha, fuente de luz de banda estrecha o cualquier combinación de las anteriores que emita fotones a la o las longitudes de onda deseadas. La fuente de excitación 102 (conformada por el filtro de fuente 104) puede proporcionar luz a cualquier longitud(es) de onda adecuada(s), incluidas longitudes de onda que excitan una sustancia fluorescente en el medio 106 o en la superficie diana 110, así como a longitud(es) de onda que experimentan una atenuación conocida por el medio 106, todo ello como se describirá de manera más detallada a continuación. Más en general, la fuente de excitación 102 puede incluir cualquier fuente de iluminación adecuada para la obtención de imágenes, tal como se describe en este documento. En tanto que la luz visible abarca un intervalo de longitudes de onda útiles, la fuente de excitación 102 puede proporcionar de forma útil también, o de forma alternativa, luz próxima o más allá del intervalo de luz visible tal como iluminación próxima a la infrarroja o infrarroja o, más en general, a través de cualquier intervalo de longitudes de onda electromagnéticas para las que se puede medir la atenuación por el medio 106. Se observará que la expresión “fuente de excitación”, como se usa en este documento, debe entenderse en sentido amplio como cualquier fuente de energía capaz de conseguir la iluminación del objeto 108. La fuente de excitación 102 puede ser una fuente de luz situada para excitar una única sustancia fluorescente alrededor del objeto 108 (por ejemplo, en el interior del medio 106) para dar una emisión fluorescente o, más en general, para iluminar el medio 106 y/o la superficie diana 110, según sea necesario para capturar mediciones de intensidad apropiadas en el sensor 112 para cálculos de grosor, según se describe más adelante.

De manera opcional, se pueden usar uno o múltiples filtros de fuente 104 para conformar un perfil espectral de la fuente de excitación 102, tal como proporcionar iluminación de banda estrecha a partir de una fuente de luz de

banda ancha o atenuar de cualquier otra forma la energía fuera de las longitudes de onda de interés. Por ejemplo, cuando el sensor 112 captura una imagen fluorescente u otra imagen radiante del objeto 108, el o los múltiples filtros de fuente 104 pueden eliminar o atenuar de manera conveniente la(s) longitud(es) de onda de fluorescencia de la fuente de excitación 102 con el fin de evitar la contaminación de imágenes de fluorescencia.

5 El medio 106 puede incluir cualquier sustancia, mezcla, solución, composición o similar, adecuadas para los sistemas y métodos de obtención de imágenes que se describen en este documento. En general, el medio 106 puede tener coeficientes de atenuación conocidos y diferentes para dos longitudes de onda, de manera que se puede capturar y usar una proporción de intensidad a estas longitudes de onda en los cálculos de grosor. El medio 106 puede incluir igualmente una única sustancia fluorescente, fosforescente o radiante similar que contribuya a la  
10 intensidad de la energía electromagnética a una de las dos longitudes de onda diferentes. En realizaciones, uno de los coeficientes de atenuación es cero. En realizaciones, uno de los coeficientes de atenuación es mayor o menor que el otro o, para mejorar la discriminación en un cálculo que incluya una proporción, ser significativamente mayor o menor que el otro.

15 El medio 106 se puede seleccionar por sus propiedades mecánicas. De esta forma, el medio 106 puede incluir uno o múltiples líquidos, gases, sólidos, geles u otra sustancia o combinación de sustancias. Por ejemplo, se puede usar convenientemente un líquido tal como aceite de silicio cuando el objeto 108 es pequeño y se puede incluir en un baño u otro recipiente con el aceite. Como ejemplo adicional, se puede usar convenientemente un gas con una tinción fluorescente en un espacio interior, tal como se describe en diversas realizaciones más adelante. En otros  
20 ejemplos, el medio 106 puede ser un medio de fundición tal como un gel curable en el que se puede incluir a presión y retirar el objeto 108, dejando una impresión negativa del objeto en el medio 106. En diversos ejemplos, el material curable de este tipo se puede curar mientras el objeto 108 esté en el medio 106, después de haber retirado el objeto 108 del medio 106, o alguna combinación de estas condiciones. El medio 106 se puede curar con el paso del tiempo, o con la aplicación de calor, luz, presión o similar, o por medio de algún otro medio de activación.

25 En otro ejemplo, el medio 106 se puede seleccionar por sus propiedades ópticas tales como luminiscencia (por ejemplo, fluorescencia) y/o atenuación. De este modo, el medio 106 puede ser, en general, transparente a través de alguna parte del espectro electromagnético, de manera que la luz que atraviesa el medio 106 en determinadas longitudes de onda no resulta atenuada. De la misma forma, el medio 106 puede tener un coeficiente de atenuación distinto de cero a algunas longitudes de onda, de modo que la luz a estas longitudes de onda resulta atenuada cuando atraviesa el medio 106. Esto se puede lograr, por ejemplo, con el uso de un aditivo tal como nanopartículas  
30 de oro (que se pueden calibrar de manera muy precisa para lograr la atenuación a bandas estrechas y específicas de longitudes de onda), o cualquier otra sustancia o combinación de sustancias que logre una atenuación deseada de un perfil espectral. El medio 106 también puede contener tinciones fluorescentes, tinciones fosforescentes, puntos cuánticos o alguna otra sustancia o combinación de sustancias que emita luz en respuesta a otras longitudes de onda u otro estímulo (tal como la aplicación de un campo eléctrico, una reacción química, etc.). En estas  
35 realizaciones, se puede usar la intensidad de la luz emitida para ayudar en los cálculos de un grosor del medio 106, tal como se describirá más detalladamente a continuación. El medio 106 puede incluir también o alternativamente cualquier material quimioluminiscente, material electroluminiscente, u otro material que emita luz a una o más longitudes de onda mensurables.

40 De esta forma, el medio 106 puede incluir en general una variedad de tinciones, solutos, puntos cuánticos, nanopartículas de sílice encapsulada u otras sustancias que se pueden combinar - tal como en una mezcla homogénea - para conferir al medio 106 diferentes propiedades de emisión y/o coeficientes de atenuación a diferentes longitudes de onda. El medio 106, incluidos los aditivos, puede estar formado por materiales biocompatibles, de manera que su uso en o en la proximidad de un organismo vivo sea seguro. Una tinción biocompatible útil es fluoresceína sódica, aunque se apreciará que se conoce una variedad de tinciones  
45 fluorescentes biocompatibles, las cuales se pueden usar convenientemente con los sistemas y métodos que se describen en este documento.

El objeto 108 puede ser cualquier objeto que tenga una superficie diana 110 a partir de la cual se debe adquirir una imagen tridimensional. Esto puede incluir, por ejemplo, material biológico o fisiológico tal como dientes (o un molde dental), huesos, manos, huellas dactilares o, de forma más general, cualquier tejido, esqueleto, órganos y similares  
50 que incluyen, sin limitaciones, superficies interiores tales como un canal auditivo, conducto nasal, vejiga, etc. También, o alternativamente, puede incluir artículos fabricados tales como componentes mecanizados de precisión, piezas de fundición de precisión, inyectores de combustible, palas de turbina, sellos o cualquier otro objeto tridimensional en el que el control de calidad incluya convenientemente una evaluación de la forma tridimensional. Asimismo, o de forma alternativa, puede incluir modelos que se pueden digitalizar convenientemente para  
55 subsiguientes procesos computadorizados tales como diseño automatizado por ordenador, animación computadorizada, etc. Más en general, el objeto 108 puede ser cualquier objeto a partir del cual sea posible capturar convenientemente una imagen tridimensional.

El sensor 112 puede incluir cualquier sensor o grupo de sensores apropiado para capturar de forma digital o electrónica una intensidad de radiación electromagnética a una o múltiples longitudes de onda. Pueden incluir, por  
60 ejemplo, fotodiodos, dispositivos de carga acoplada (CCDs), dispositivos semiconductores complementarios de óxido metálico (CMOS), o cualquier otro sensor óptico o combinación de sensores adecuados para ser usados con

los sistemas y métodos que se describen en este documento. En general, el sensor 112 puede estar situado para medir una intensidad de una o más longitudes de onda de luz en una dirección de una ubicación dentro de una región de interés en la superficie diana 110 tal como se indica en el punto en que la trayectoria óptica de retorno 120 abandona el objeto hacia el sensor 112 y el filtro de sensor 114.

5 El sensor 112 puede incluir una matriz de píxeles bidimensional capaz de capturar una imagen bidimensional en la que una medición en cada ubicación de píxel corresponde a una intensidad de una o múltiples longitudes de onda de luz en una dirección, dentro de un campo de visión del sensor 112. Puede incluir, por ejemplo, matrices CCD convencionales tales como una matriz de escala de grises, una matriz de color rojo verde azul (RGB), una matriz de color cian magenta amarillo (CMY), o similar. Se conocen diversas técnicas para discriminar diferentes longitudes de onda, que incluyen máscaras de filtro que se superponen en un detector para capturar un intervalo particular de longitudes de onda en cada ubicación de píxel, una rueda de filtros con la que se pueden capturar imágenes separadas en el tiempo (y separadas por longitudes de onda) a través de cada una de una secuencia de filtros, o un prisma que separa una trayectoria óptica en tres sub-rutas, cada una de las cuales se utiliza para una longitud de onda diferente. En otros ejemplos, se pueden usar pozos de semiconductores anidados o similares para medir diferentes longitudes de onda a diferentes profundidades dentro del dispositivo semiconductor. Aunque no se ilustra por separado, se apreciará que el sensor 112 puede incluir una variedad de elementos ópticos de una cámara tales como lentes de enfoque, lentes de zoom, prismas, espejos, etc., así como otro hardware de la cámara tales como diafragmas, controles de apertura, etc., cualquiera de los cuales puede construirse a medida para un entorno particular de obtención de imágenes, o integrado en una cámara disponible en el comercio, o alguna combinación de estos.

En general, las técnicas descritas en este documento usan dos longitudes de onda medidas. Sin embargo, se debe observar que es posible utilizar convenientemente longitudes de onda adicionales para aumentar la precisión o para adaptar su uso a una gama de diferentes medios 106. Las longitudes de onda medidas pueden ser, o estar próximas a longitudes de onda específicas detectadas por hardware de cámaras convencionales, o estar en otras longitudes de onda y, en general, pueden incluir intervalos o bandas de tamaño variable alrededor de ciertas longitudes de onda centrales, de acuerdo con la sensibilidad de los sensores que se emplean y/o con las propiedades de la fuente de excitación 102 y del medio 106. En algunas realizaciones, las longitudes de onda medidas son 510 nanómetros y 540 nanómetros, respectivamente.

El filtro de sensor 114 puede ser cualquier filtro o combinación de filtros útil para permitir el paso selectivo de una o múltiples longitudes de onda de luz hacia el sensor 112, incluidas las máscaras de filtro descritas anteriormente para discriminar longitudes de onda en el sensor, o uno o múltiples filtros separados del sensor 112 para filtrar de forma bruta una señal óptica de entrada, con el fin de atenuar la luz que no está incluida en una o múltiples longitudes de onda de interés. En diversas realizaciones, el filtro de sensor 114 puede incluir un filtro conmutable de paso de banda, un filtro de paso de banda óptico, un filtro de color, un filtro de luz difusa que atenúa toda la luz fuera de las longitudes de onda medidas, un filtro de excitación que atenúa por encima de las bandas de excitación, etc.

El ordenador 116 puede incluir cualquier dispositivo o dispositivos informáticos apropiados, incluidos sin limitaciones un ordenador de sobremesa, un ordenador portátil o dispositivo(s) de procesamiento exclusivo(s). El ordenador puede incluir uno o múltiples procesadores de propósito general o propósito especial construidos y/o programados para recibir mediciones de intensidades, realizar cálculos para determinar el grosor de un medio de atenuación, y presentar los resultados de los cálculos tal como se describe en este documento. Puede incluir el uso de software, firmware, microcódigos, matrices de puerta programables, circuitos específicos de aplicación, etc. En general, el ordenador 116 puede proporcionar una o múltiples funciones de alto nivel tal como se describe más adelante.

En un aspecto, el ordenador 116 puede controlar el funcionamiento de la fuente de excitación 102 y del sensor 112 para obtener imágenes en los sensores del objeto 108. Puede incluir funciones suplementarias tales como el control de suministro del medio 106 o permitir, de cualquier otra forma, la monitorización y el control de hardware para los sistemas y métodos que se describen en este documento. En otro aspecto, el ordenador puede obtener datos del sensor 112 tales como la matriz bidimensional de los valores de intensidad capturados de un campo de visión que contiene el objeto 108 y el medio 106. Esto puede incluir un procesamiento intermedio tal como la operación de control del sensor 112 o un aporte de datos desde el sensor 112, así como el procesamiento de mediciones digitales desde el sensor 112 para obtener valores de intensidad a longitudes de onda particulares de interés. De esta forma, por ejemplo, cuando se emplea una cámara RGB, el ordenador 116 puede recibir tres mediciones discretas de longitud de onda para cada píxel de la cámara (por ejemplo, una longitud de onda roja, una longitud de onda verde y una longitud de onda azul) y procesar estos valores RGB en cada ubicación de píxel para determinar o calcular una intensidad a una o múltiples longitudes de onda entre los valores RGB discretos para usarlos en cálculos subsiguientes.

En otro aspecto, el ordenador 116 puede calcular un grosor del medio 106 en una dirección de una ubicación del objeto 108 (por ejemplo, a lo largo de la trayectoria óptica de retorno 120 hasta una ubicación particular del sensor/píxel), basándose en una función de la intensidad a dos o más longitudes de onda específicas. En general, cada sensor 112 (o ubicación de píxel en el interior de un sensor 112) proporciona una medición de intensidad a dos longitudes de onda diferentes en la dirección de una ubicación sobre la superficie diana 110 que puede corresponder

a una región de interés general o a una ubicación particular dentro de una región de interés, dependiendo de la resolución óptica del sensor 112 y del hardware relacionado.

5 Cuando el medio 106 tiene un coeficiente de atenuación diferente para cada una de dos longitudes de onda medidas y el medio 106 emite fluorescencia o cualquier otro tipo de radiación a una de estas dos longitudes de onda, la intensidad a cada una de las dos longitudes de onda se puede relacionar con un grosor del medio 106 en la dirección de la ubicación. Se pueden llevar a cabo adaptaciones apropiadas cuando, por ejemplo, el medio 106 contiene una tinción fluorescente que resulta excitada por la fuente de excitación 102, o cuando el medio 106 contiene dos tinciones fluorescentes que son excitadas por la fuente de excitación 102, o cuando el medio 106 tiene coeficientes de atenuación conocidos y la superficie diana 110 tiene un patrón de color conocido, o cuando la superficie diana 110 tiene una superficie luminiscente que genera luminiscencia a una longitud de onda que resulta atenuada por el medio 106. En algunas realizaciones, para obtener el patrón de color conocido se puede usar una imagen inicial de la superficie diana 110 (por ejemplo, tomada sin la presencia del medio 106). Preferiblemente, el medio no absorbente y el medio 106 tienen índices de refracción similares (es decir, muestran índices emparejados), de manera que la imagen inicial y cualquier imagen tomada con el medio 106 se alinean de la forma más exacta posible. También se puede usar traslación, rotación, plegado y similares para adaptar una imagen inicial a diversas perspectivas sobre un objeto, tal como cuando una cámara u otro sensor obtienen imágenes de una variedad de tomas que se usan para formar una imagen tridimensional compuesta. Independientemente de cómo se realice la adaptación, se puede emplear esta noción general para obtener una serie de mediciones de grosor en la dirección de una serie correspondiente de ubicaciones sobre la superficie diana 110.

20 En otro aspecto, el ordenador 116 puede procesar las mediciones de grosor para obtener una reconstrucción tridimensional de la superficie diana 110. Con una serie de restricciones sencillas tales como la información sobre los límites físicos del medio 106, la direccionalidad asociada con la medición del píxel o de otros sensores, y una aplicación directa de la geometría euclidiana, las mediciones de grosor se pueden transformar en un conjunto de datos tridimensionales que representan la superficie diana 110. Estos datos tridimensionales se pueden almacenar, mostrar, enviar a otro proceso informático, etc. Se entenderá que aunque en la Fig. 1 se muestre el medio 106 provisto de una sección transversal generalmente rectangular, no se trata de un requisito estricto, sino que se puede emplear cualquier forma del medio 106, con la condición de que haya disponible información suficiente acerca de la superficie del medio para permitir obtener inferencias sobre la superficie diana basadas en las mediciones de grosor. Por ejemplo, una lente del sensor 112 puede estar sumergida en el medio de atenuación, de modo que las mediciones de grosor se realicen directamente desde una superficie de la lente hasta el objeto 108. En otro aspecto, el objeto 108 puede estar sumergido en un baño del medio 106, en donde una superficie superior del baño tiene una posición conocida, de forma que se puede proyectar el grosor (basándose en la direccionalidad) desde esta superficie hasta la superficie diana.

35 Este proceso se puede complementar de una serie de formas. Por ejemplo, se puede crear un vídeo tridimensional con una serie de mediciones separadas en el tiempo. En otro aspecto, el sensor 112 o el objeto 108 se pueden mover (por traslación, rotación o alguna combinación de las mismas) para capturar una zona de interés mayor o la totalidad del objeto 108, o con el fin de obtener mediciones de superficies ocluidas del objeto 108, o por cualquier otro motivo. En un proceso de obtención de imágenes basado en el movimiento, las posiciones relativas del sensor 112, del objeto 108 y/o del medio 106 se pueden rastrear físicamente con sensores de movimiento o similares, o se puede inferir el movimiento relativo usando un proceso de registro tridimensional para relacionar espacialmente conjuntos sucesivos de datos tridimensionales entre sí. Independientemente de la metodología particular, se verá fácilmente que se pueden combinar mediciones espaciales individuales, o grupos de mediciones espaciales para formar un modelo tridimensional de mayor tamaño, y que todas las técnicas de este tipo que resultan evidentes para el experto en la materia para crear una reconstrucción tridimensional están incluidas dentro del alcance de esta descripción.

En otro aspecto, el ordenador 116 puede ofrecer una interfaz de usuario para el control y el funcionamiento del sistema 100, así como instrumentos para visualizar mediciones de grosor, visualizar o manipular modelos tridimensionales reconstruidos, etc.

50 El ordenador 116 también puede soportar la calibración del sistema 100 con el fin de corregir, por ejemplo, variaciones en el sensor 112, de la fuente de excitación 102 y elementos ópticos relacionados, o variaciones de las concentraciones de aditivos en el medio que absorben, dispersan, atenúan, producen fluorescencia o imparten diversas propiedades ópticas al sistema de cualquier otra forma. Por ejemplo, y sin limitaciones, se entenderá que se puede caracterizar el sensor 112 usando un elemento de calibración o similar antes de emplear el sensor 112 en el sistema 100. Se entenderá, además, que mediante la toma de mediciones controladas del espectro de absorción o del espectro de emisión para el medio 106, es posible mejorar la precisión de las mediciones de grosor y cálculos relacionados. La calibración puede incluir, por ejemplo, el uso de un objeto 108 con una forma conocida y en una posición conocida dentro del medio 106, o el uso de un recipiente para el medio que posee una forma conocida. Se apreciará fácilmente la existencia de una diversidad de técnicas adecuadas de calibración, basadas en el uso de formas, dimensiones, patrones de superficie, u otros parámetros conocidos, cualquiera de los cuales se puede adaptar para ser usado con los sistemas de obtención de imágenes descritos en este documento.

El suministro 122 del medio 106 se puede proporcionar y adaptar para distribuir el medio 106 entre el sensor 112 y la superficie diana 110. Se entenderá que a pesar de que el suministro 122 se representa como un depósito externo, el suministro deberá entenderse en un sentido más amplio como cualquier estructura que aporte el medio 106 y/o retenga el medio 106 sobre el objeto 108, de forma que permita realizar mediciones de grosor, incluidas cualesquier bombas, válvulas, recipientes, drenajes, tuberías y similares consistentes con el suministro del medio 106 para los usos descritos en este documento.

Fig. 2 muestra los espectros de emisión y absorción para fluoresceína sódica. En general, las técnicas de obtención de imágenes descritas anteriormente pueden emplear técnicas conocidas de ERLIF, usando dos tinciones fluorescentes diferentes. Sin embargo, en un aspecto el sistema de obtención de imágenes se puede implementar, de manera alternativa, utilizando un medio que contiene una sola tinción fluorescente (u otra sustancia) tal como fluoresceína sódica, que tiene un espectro de absorción 202 que se solapa con un espectro de emisión 204. Por medio de la excitación de esta tinción con una luz azul y la captura de pares de imágenes fluorescentes en bandas de 10 nanómetros dentro del espectro solapado 206 de absorción y atenuación distinto de cero, centradas, por ejemplo, en aproximadamente 510 nanómetros y aproximadamente 540 nanómetros, pueden obtenerse valores de intensidad para cálculos de grosor de manera similar a las técnicas ERLIF mencionadas anteriormente. De esta forma, en un aspecto de este documento se describe una medición de grosor y/o un sistema de obtención de imágenes tridimensionales que utiliza un medio con una única tinción fluorescente, en donde la tinción tiene espectros solapados de emisión y absorción distintos de cero.

Fig. 3 muestra un sistema de obtención de imágenes tridimensionales, que utiliza una superficie luminiscente aplicada sobre un objeto. En general, el sistema 300 puede ser como se ha descrito anteriormente en relación con la Fig. 1, con las diferencias que se indican más adelante. Se aplica una capa luminiscente 322 sobre la superficie diana 110 del objeto 108, y emite luz a una primera longitud de onda y a una segunda longitud de onda que se puede medir con el sensor 112 con el fin de facilitar los cálculos de grosor del medio 106. En general, el sensor 112 puede estar situado para capturar una intensidad de la primera longitud de onda y de la segunda longitud de onda en una dirección de una ubicación sobre la superficie diana 110, y se puede programar un procesador tal como un ordenador 116 para calcular un grosor del medio en la dirección de la ubicación, basándose en una función de la intensidad de la primera y segunda longitudes de onda.

En un aspecto, se aplica una capa luminiscente 322 sobre la superficie diana 110 o incrustada en el objeto 108 (usando, por ejemplo, una guía de ondas o similar). Las emisiones de la capa luminiscente 322 pueden viajar a lo largo de la trayectoria óptica de retorno 120, tal como se ha descrito más arriba. Aun cuando la siguiente descripción se refiere expresamente a una capa de material fluorescente, se entenderá fácilmente que el objeto 108 puede estar fabricado también, o alternativamente a partir de un material luminiscente, con el fin de alcanzar un efecto similar, o puede contener guías de ondas o similares que producen luminiscencia. De esta forma, tal como se usa en este documento, no se debe interpretar la expresión "capa luminiscente" como que requiere una capa discreta de material luminiscente sobre la superficie diana 110 del objeto 108. Más bien, para la creación de una capa luminiscente 322, se deberá entender el empleo de cualquier técnica capaz de convertir el objeto 108 en luminiscente, y esa es la expresión que se usa en este documento, a menos que se indique expresamente un significado diferente o éste resulte evidente a partir del contexto. En general, la capa luminiscente 322 puede estar formada por cualquier combinación apropiada de materiales seleccionados por sus propiedades mecánicas, propiedades ópticas y otras propiedades adecuadas.

Las propiedades mecánicas de la capa luminiscente 322 pueden depender de la forma en que se aplicará la capa luminiscente 322. Por ejemplo, un aceite u otro material relativamente viscoso pueden ser adecuados para recubrir por inmersión el objeto 108, mientras que se podría usar convenientemente un líquido menos viscoso para pulverizar o pintar sobre la superficie diana 110. En otras realizaciones, una película delgada u otra membrana se puede impregnar con un material luminiscente (o fabricar con un material luminiscente, o recubrir con un material luminiscente), y usarla para formar la capa luminiscente 322 en una membrana inflable, tal como se describe más adelante. La membrana puede ser elástica, deformable, flexible, maleable o cualquier combinación de estas propiedades, o puede tener cualesquiera otras propiedades útiles para formar una capa luminiscente ajustada sobre el objeto 108.

En realizaciones, la membrana luminiscente 322 puede ser una membrana con la que se puede envolver parte o la totalidad del objeto 108. El objeto 108, envuelto en la capa luminiscente 322, se puede introducir entonces en el medio 106 y se pueden obtener mediciones de grosor a partir de cualquier número de tomas desde el interior o el exterior del medio 106. De este modo, por ejemplo, cuando el objeto 108 es un pie humano, se puede confeccionar un calcetín de un material con la capa luminiscente 322 dispuesta sobre la cara exterior del calcetín. A continuación, se puede insertar un pie en el calcetín que, a su vez, se puede introducir en el medio 106 para obtener un modelo tridimensional del pie. Este método se puede emplear, de manera más general, para obtener imágenes tridimensionales mediante el uso de una membrana tal como una cualquiera de las membranas elásticas o no elásticas descritas en este documento, utilizada como cubierta exterior de la superficie diana. De esta manera, en una realización de este documento se describe un calcetín (o cualquier otra membrana de recubrimiento) con una superficie exterior luminiscente, que se puede usar para capturar imágenes tridimensionales de un objeto insertado en el calcetín.

Las propiedades ópticas de la capa luminiscente 322 se pueden controlar con la introducción de aditivos apropiados. La capa luminiscente 322 puede incluir una tinción fluorescente u otra sustancia radiante, capaz de responder a la iluminación con la fuente de excitación 102. Una sustancia fluorescente adecuada puede incluir cumarina-153, que es un polvo que puede disolverse y/o diseminarse muy bien en ciertos plásticos, posee propiedades fluorescentes adecuadas y parecer estar exenta de toxicidad. En otro aspecto, la capa luminiscente 322 puede contener un material quimioluminiscente o electroluminiscente que actúa como fuente de luz directa. Materiales quimioluminiscentes adecuados pueden incluir una solución con peróxido de hidrógeno en presencia de un catalizador (por ejemplo, hierro o cobre), *cyalume* (barra de luz química) en una solución con peróxido de hidrógeno en presencia de un catalizador (por ejemplo, salicilato sódico), etc. Se observará que es posible emplear una diversidad de composiciones quimioluminiscentes de material en fase líquida y fase gaseosa. Materiales electroluminiscentes adecuados pueden incluir, por ejemplo, sulfuro de cinc en polvo dopado con cobre o plata, películas delgadas de sulfuro de cinc dopado con manganeso, etc. De manera más general, se conoce una variedad de materiales quimioluminiscentes y electroluminiscentes que se pueden adaptar al uso como capa luminiscente 322 tal como se describe en este documento. De esta forma, la capa luminiscente 322 puede incluir una capa quimioluminiscente, una capa electroluminiscente, una capa fluorescente o alguna combinación de estas.

En realizaciones alternativas, la capa fluorescente 322 puede incluir una guía de ondas óptica sobre la superficie diana 110 o en el interior del objeto 108. Se entenderá que es posible la presencia de una variedad de geometrías, estructuras de modo y materiales para la guía de ondas óptica, que puede estar adaptada para el uso con los sistemas que se describen en este documento.

La fuente de excitación 102 puede proporcionar una o múltiples longitudes de onda de luz para excitar una tinción fluorescente o similar dentro de la capa luminiscente 322. En otras realizaciones, la fuente de excitación 102 se puede omitir por completo, o puede estar presente alternativamente como una fuente química, eléctrica u otra fuente de energía que produce iluminación a partir de la capa luminiscente 322. En otras realizaciones, la fuente de excitación 102 puede incluir una fuente de energía eléctrica que suministra energía directamente a una guía de ondas en el objeto 108. En otras realizaciones, la fuente de excitación 102 puede incluir un campo eléctrico, un precursor químico u otro medio para iluminar la capa luminiscente 322.

Por lo tanto, se podrá apreciar que la capa luminiscente 322 puede estar formada por una variedad de diferentes vehículos y aditivos. En realizaciones, la capa luminiscente 322 puede contener cualquier pigmento luminiscente adecuado tal como una tinción fluorescente en un vehículo líquido que se puede pulverizar o aplicar como pintura sobre el objeto 108, o una película o membrana que está recubierta o impregnada con un material fluorescente. Para la obtención de imágenes *in vivo*, la capa luminiscente 322 puede estar formada por sustancias biocompatibles. En realizaciones, la capa luminiscente 322 puede incluir nanopartículas fluorescentes biocompatibles de óxido metálico (y recubrimientos que las contienen), fuentes electroluminiscentes flexibles de película fina, o nanopartículas con un recubrimiento superficial de moléculas quimioluminiscentes.

En realizaciones con una capa luminiscente 322 se pueden obtener mediciones de intensidad adecuadas para los cálculos de grosor basados en la atenuación relativa de diferentes longitudes de onda, sin necesidad de un medio 106 fluorescente o luminiscente por cualquier otra causa. Con el fin de alcanzar las propiedades de atenuación deseadas, el medio 106 puede incluir un vehículo formado por un líquido transparente en el que están distribuidas uniformemente nanopartículas o nanobastoncillos de oro. Las nanopartículas o nanobastoncillos de oro tienen un perfil de absorción que se puede ajustar en base al tamaño y forma de los propios nanopartículas y nanobastoncillos. En realizaciones, las nanopartículas o nanobastoncillos de oro se pueden ajustar para absorber más energía óptica dentro de una banda predeterminada de longitudes de onda de luz visible que a otras longitudes de onda. Las nanopartículas o nanobastoncillos de oro pueden estar en una concentración en el vehículo tal que el medio 106 sea transparente (es decir, mantiene sustancialmente una atenuación cero) fuera de la banda predeterminada.

Se puede observar que en este documento se describen diversos medios para llevar a cabo las funciones asociadas con el uso de la capa luminiscente 322. Un medio de aplicación para aplicar la capa luminiscente 322 a la superficie diana 110 puede incluir, por ejemplo, una brocha de pintura, un pulverizador, un atomizador o un baño de material para la capa luminiscente 322 en el cual se puede sumergir la superficie diana 110. Un medio de distribución puede incluir un suministro del medio así como cualquier estructura dirigida a retener el medio en una zona deseada alrededor del objeto, tal como un recipiente con pared lateral para un líquido, o una cámara hermética para gases destinada a retener el medio en forma gaseosa. Los medios de sensor pueden incluir cualquiera de los sensores descritos en este documento. Un medio de procesamiento puede incluir cualquiera de los dispositivos informáticos o un hardware adicional de procesamiento descrito en este documento.

Fig. 4 muestra un sistema de obtención de imágenes tridimensionales que no forma parte de la presente invención, que utiliza una capa óptica pasiva que se aplica a un objeto. En general, el sistema 400 es como se ha descrito anteriormente, con las diferencias que se señalan más adelante. Se puede aplicar una capa pasiva 422 a la superficie diana 110 del objeto 108, con el fin de impartir al objeto 108 propiedades ópticas conocidas que se pueden usar en combinación con un medio de atenuación 106 para determinar el grosor, basado sobre mediciones de intensidad a diversas longitudes de onda.

El medio 106 puede ser uno o varios de los medios de atenuación descritos anteriormente que proporcionan diferentes coeficientes de atenuación para al menos dos longitudes de onda diferentes. La fuente de excitación 102 puede ser una fuente de luz de banda ancha que determina la iluminación del objeto 108 sobre un intervalo de longitudes de onda (o intervalos de longitudes de onda), que incluyen las al menos dos longitudes de onda diferentes que se usan para los cálculos de grosor.

En general, la capa pasiva 422 se puede construir usando cualquiera de las técnicas descritas anteriormente para una capa luminiscente 322. Esto incluye pulverizar, pintar o aplicar de cualquier otro modo la capa pasiva 422 al objeto 108, o fabricar el objeto 108 con una superficie exterior que posee las propiedades deseadas. Por lo general, la capa pasiva 422 imparte un patrón óptico conocido sobre el objeto 108, de manera que el objeto 108 tenga un color predeterminado sobre una región de interés. El color predeterminado puede ser un color uniforme que sea desconocido, un color uniforme que sea conocido (por ejemplo, un color específico) o una distribución conocida de color.

En funcionamiento, el objeto 108 se puede iluminar por medio de la fuente de excitación 102 y se puede medir una intensidad a las al menos dos longitudes de onda en el sensor 112. A través del uso de una fuente de luz de banda ancha y una distribución conocida del color en el objeto 108, se puede suponer que la relación de las intensidades reflejadas sea constante en la superficie diana 110. De esta forma, cualquier variación en la relación de intensidades medidas se puede correlacionar con un grosor del medio de atenuación 106 y se puede calcular un grosor. El uso de una relación también puede reducir los efectos sobre los cálculos de grosor de cualquier falta de uniformidad espacial en la fuente de iluminación o en la reflectividad de la capa pasiva.

En un ejemplo, la capa pasiva 422 puede tener un color que varía. Esto puede ser útil, por ejemplo, cuando se espera que la superficie diana 110 exhiba una variabilidad importante de altura (con una correspondiente variabilidad en el grosor del medio 106). En general, la sensibilidad de las intensidades de luz medidas en el sensor 112 al grosor del medio 106 puede depender de una serie de factores, incluido el color seleccionado para la capa pasiva 422. Cuando se espera que una superficie sea prácticamente plana, puede ser preferible una alta sensibilidad con el fin de alcanzar una mayor resolución en las mediciones de grosor. Sin embargo, cuando cabe esperar que la superficie sea fundamentalmente no plana, puede ser necesaria una sensibilidad menor para evitar la saturación del sensor 112 o, más en general, para proporcionar una profundidad de campo apropiada para capturar la profundidad. En los casos en que se dispone de alguna información previa relativa a la forma del objeto 108 que se somete a medición, esta información se puede utilizar para incrementar la resolución de las mediciones en concordancia con una selección correspondiente y adecuada de color en la superficie diana 110.

También, o de manera alternativa, la capa pasiva 422 puede tener otras propiedades seleccionadas para ayudar a capturar mediciones de grosor exactas. Por ejemplo, un acabado mate puede ofrecer propiedades reflectantes más consistentes para la superficie diana 110 bajo una gama de condiciones de iluminación. De igual modo, un acabado en color oscuro puede absorber determinadas longitudes de onda de la luz incidente que, de lo contrario, interferirían con las mediciones del sensor.

En un aspecto, un sistema, que no forma parte de la presente invención, descrito en este documento para la captura de mediciones de grosor a partir de una superficie diana, con una distribución de color conocida, puede incluir un medio de distribución que puede ser el suministro 122 o cualquiera de los restantes medios descritos anteriormente para distribuir un medio entre una superficie diana y un sensor, o retener el medio en esta distribución. El sistema puede incluir un medio de iluminación que puede ser cualquiera de las fuentes de luz u otras fuentes de excitación que se han descrito más arriba. El sistema puede incluir un medio de sensor que puede incluir cualquiera de los sensores descritos anteriormente, apropiados para capturar datos de intensidad de longitud de onda correspondientes a la iluminación proporcionada por la fuente de iluminación. Por último, el sistema puede incluir un medio de procesamiento que puede incluir cualquier procesador o dispositivo informático descrito en este documento, programado para calcular el grosor sobre la base de las mediciones de intensidad de la longitud de onda y, cuando sea conveniente, para reconstruir adicionalmente una imagen tridimensional a partir del o de los grosores resultantes.

En un aspecto, los sistemas descritos anteriormente permiten de manera conveniente la obtención de imágenes tridimensionales usando una sola cámara tal como una cámara de color convencional. A través de la disposición física de un medio, las fuentes de iluminación y/o el tratamiento de superficie de un objeto, según las diversas realizaciones y ejemplos descritos más arriba, es posible obtener mediciones de grosor con una sola cámara y convertirlas geoméricamente en una imagen tridimensional de la superficie diana. De esta forma, un dispositivo para la obtención de imágenes tridimensionales que se describe en este documento incluye una cámara y un procesador. La cámara, que puede ser una cámara de color convencional, puede incluir una lente y uno o múltiples sensores capaces de capturar una imagen bidimensional en color de un campo de visión, incluyendo una intensidad a una primera longitud de onda y a una segunda longitud de onda, que pueden ser cualquiera de las longitudes de onda o bandas de longitudes de onda descritas anteriormente. La intensidad a cada ubicación de píxel en la imagen bidimensional se corresponde con una dirección desde la lente hacia el campo de visión, de manera que se puede inferir la direccionalidad adecuada para la medición y emplearla en una reconstrucción tridimensional. El procesador, que puede ser el ordenador o cualquier otro dispositivo de procesamiento descrito anteriormente, puede calcular entonces un grosor de un medio en la dirección correspondiente a cada uno de la pluralidad de ubicaciones de

píxeles como función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda a una de la pluralidad de ubicaciones de píxeles, ofreciendo de esta forma una pluralidad de mediciones de grosor. A partir de esta pluralidad de mediciones de grosor y de la información adicional relacionada, tal como la direccionalidad asociada con cada píxel, y cualquier otra información previa sobre los límites geométricos del medio, el procesador puede calcular una imagen tridimensional de un objeto dentro de campo de visión.

Se debe tener en consideración que el uso descrito de una sola cámara para obtener una imagen tridimensional se puede aplicar también en el contexto de la técnica ERLIF convencional

Para los sensores 112, la cámara puede incluir una cámara de chip con un semiconductor complementario de óxido metálico (CMOS), con uno o múltiples sensores CMOS en un dispositivo de estado sólido. La cámara puede incluir cualquier número de filtros para capturar selectivamente la intensidad de la primera y segunda longitudes de onda a cada una de la pluralidad de ubicaciones de píxeles. Los filtros pueden incluir una máscara de filtro dispuesta en el dispositivo de obtención de imágenes (es decir, integrado en el chip de la cámara o en otro dispositivo de obtención de imágenes en estado sólido). Por ejemplo, la cámara puede incluir una pluralidad de filtros para capturar selectivamente una intensidad de diferentes longitudes de onda a diferentes ubicaciones de la pluralidad de ubicaciones de píxeles tales como una máscara de filtro RGB o CMY convencional, o una pluralidad de filtros para capturar selectivamente longitudes de onda específicas que se utilizan en los cálculos de medición. Igualmente, o de manera alternativa, los filtros pueden incluir dispositivos o sistemas de filtro exterior, pudiendo incluir filtros activos que permiten ajustar las propiedades de filtrado durante la operación, o filtros fijos tales como espejos dicróicos o similares, situados manualmente frente a la lente de la cámara.

La cámara puede capturar imágenes en colores RGB (rojo, verde, azul) o CMY (cian, magenta, amarillo) tal como se encuentra típicamente en el hardware disponible en el comercio, o en cualquier otro intervalo útil de longitudes de onda de banda estrecha o ancha. En una realización en la que el medio es un gas, la cámara puede estar sumergida en el gas junto con la superficie diana y la medición de grosor puede ser toda la distancia desde la lente de la cámara hasta una ubicación en la superficie del objeto. También se puede incluir una fuente de luz u otra fuente de excitación, todo ello según se ha descrito en general con anterioridad, y la fuente de luz puede incluir cualquier filtro o combinación de filtros apropiada para un medio particular. Estos filtros pueden ser útiles, por ejemplo, para atravesar selectivamente una o más longitudes de onda para excitar un material fluorescente, o para atenuar la luz a las longitudes de onda a las que se emite la luz fluorescente, con el fin de evitar la interferencia con emisiones fluorescentes desde la superficie diana o del medio intermedio.

En otro aspecto, se describen medios útiles para usar con los sistemas de obtención de imágenes anteriormente descritos. En general, estos medios incluyen cualquier combinación de vehículos y otras sustancias (para atenuación o para fluorescencia) diseñadas específicamente para usar con los sistemas anteriores y que no se hallan disponibles de otra forma en el comercio ni se describen en la técnica.

Por ejemplo, en un aspecto, una composición de material descrita en este documento incluye un vehículo formado por un medio líquido transparente y una pluralidad de nanopartículas de oro distribuidas uniformemente en el vehículo. De manera conveniente, las nanopartículas de oro pueden estar adaptadas para absorber energía óptica dentro de una banda predeterminada de longitudes de onda de luz visible, con el fin de facilitar las mediciones de grosor y la obtención de imágenes tridimensionales, tal como se describe en este documento.

La pluralidad de nanopartículas de oro se puede ajustar usando una forma de la pluralidad de nanopartículas de oro y/o la pluralidad de nanopartículas de oro se puede ajustar usando un tamaño de la pluralidad de nanopartículas de oro. La pluralidad de nanopartículas de oro puede tener una concentración en el vehículo tal que la composición tenga una atenuación cero fuera de la banda predeterminada. La banda predeterminada puede estar comprendida entre 450 nanómetros y 550 nanómetros. El vehículo puede ser uno o múltiples elementos tales como un aceite, un gel, un gas y un líquido, cualquiera de los cuales se puede seleccionar convenientemente según el material sometido a la obtención de imágenes y la técnica de obtención de imágenes que se utilice. En un aspecto, el vehículo puede incluir un aceite de silicio. En otro aspecto, en el que el material analizado puede estar fundido, o en el que, por el contrario, un gel puede actuar como medio útil, el vehículo puede incluir un glicerol o, más en general, cualquier gelatina, glicerol y diversas soluciones u otras formulaciones o preparaciones de los mismos, o cualquier otra sustancia o combinación de sustancias con propiedades similares. En otras realizaciones, el vehículo puede ser curable. El vehículo puede incluir un polímero, mezcla de polímeros o cualesquiera otras sustancias curables que puedan ser conformadas en una superficie diana y curadas a continuación usando, por ejemplo, curado químico, curado térmico, curado por luz, curado por tiempo, etc. Igualmente, el vehículo puede ser biocompatible, de modo que pueda ser usado con seguridad para la obtención de imágenes *in vivo* del material de interés, tales como la dentadura humana o un canal auditivo humano.

En otro aspecto, el medio puede incluir un vehículo formado por un medio líquido transparente y una tinción que está distribuida uniformemente en el vehículo. La tinción puede consistir en una única tinción fluorescente que posee un espectro de absorción a lo largo del cual la tinción absorbe luz, y un espectro de emisión al que la tinción emite fluorescencia, en donde el espectro de absorción y el espectro de emisión tienen al menos una región solapada distinta de cero. Esta formulación de una sola tinción mejora sobre los vehículos en los que se usa, por ejemplo, ERLIF convencional, al reducir a uno solo el número de tinciones fluorescentes requeridas en el medio. Mediante la

adaptación del hardware de obtención de imágenes y desarrollar un método matemático adecuado, los solicitantes han diseñado una técnica para capturar imágenes con un medio que contiene una sola tinción fluorescente. Por lo tanto, se debe apreciar que en este contexto cualquier referencia que se haga a una única tinción, única tinción fluorescente, única sustancia fluorescente o similar se refiere exactamente a una sustancia fluorescente, es decir, una sola y única sustancia fluorescente y no a más de una sustancia fluorescente, lo cual constituye una diferencia y una mejora importantes con respecto a las técnicas ERLIF anteriores para la obtención de imágenes.

El vehículo puede ser uno o muchos de los elementos siguientes: un aceite, un gel, un gas y un líquido. Por ejemplo, el vehículo puede incluir un aceite de silicio o un glicerol. El vehículo puede ser curable, tal como se ha señalado de forma general más arriba, y el vehículo puede ser biocompatible. En una realización, la tinción puede estar encapsulada en nanopartículas de sílice. La composición puede tener un espectro de absorción que incluye un nivel máximo con una luz visible, que puede ser un nivel máximo local o un nivel máximo absoluto. Del mismo modo, la composición puede tener un espectro de emisión que incluye un nivel máximo dentro de un intervalo de luz visible.

Fig. 5 es un diagrama de flujo de un método, que no forma parte de la presente invención, para la obtención de imágenes tridimensionales usando una capa luminiscente que se aplica a una superficie diana de un objeto.

El método 500 se puede iniciar con la aplicación de una capa luminiscente a una superficie diana tal como se muestra en la etapa 502. La capa luminiscente, que puede ser una capa fluorescente, una capa quimioluminiscente, una capa electroluminiscente, etc., se puede aplicar usando cualquiera de las técnicas descritas anteriormente, incluidas pulverización, pintura, recubrimiento por inmersión, etc., o fabricando el objeto a partir de un material fluorescente. Por ejemplo, esto puede incluir la aplicación de una capa fluorescente a la superficie diana como un pigmento fluorescente en un vehículo líquido. La capa luminiscente puede emitir luz a una primera longitud de onda y a una segunda longitud de onda, por ejemplo en respuesta a cualquiera de las fuentes de excitación u otros estímulos descritos más arriba. En otra realización, la capa luminiscente puede emitir luz a una primera longitud de onda tal como debido a la fluorescencia, y reflejar la luz a una segunda longitud de onda, en donde la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda se usan para obtener mediciones de grosor de un medio circundante.

Como se muestra en la etapa 504, el método 500 puede incluir distribuir un medio, tal como cualquiera de los medios descritos anteriormente, entre la capa luminiscente y un sensor. Se podrá apreciar que este paso puede incluir una variedad de técnicas para interponer un medio entre el objeto y el sensor tales como verter el medio en forma líquida en un recipiente que contiene el objeto, sumergir el objeto en el medio, o suministrar un gas a una cámara que contiene el objeto. En otro ejemplo, esto puede incluir inflar un globo, vejiga u otra membrana inflable con un gas que contiene una tinción fluorescente y, a continuación, insertar el sensor dentro de la membrana inflable. En otro aspecto, esto puede incluir insertar un objeto en un calcetín u otro elemento, antes de distribuir el medio de la forma que se ha descrito anteriormente.

En algunos ejemplos, se puede presionar, colocar o hacer contactar de alguna otra forma un globo o similar, que contiene el medio, contra un objeto de manera que se adapte a la superficie diana. El interior del globo en esta posición se puede usar para obtener una impresión tridimensional de la superficie diana contra el globo, usando cualquiera de las técnicas descritas en este documento. De este modo, se verá que las técnicas descritas en este documento para la medición de cavidades interiores también, o alternativamente se pueden adaptar para mediciones de cualquier superficie. En un ejemplo, es posible adaptar con este fin específicamente un dispositivo que despliega la membrana inflable, inflando una membrana en el interior de un cono (que también puede formar un interior sellado junto con la membrana), o en el extremo de un brazo de soporte que facilita la colocación de la membrana inflable contra un objeto.

Como se muestra en la etapa 506, el método 500 puede incluir la excitación de la capa luminiscente de manera que proporcione una determinada combinación de luz reflejada y/o luz radiante. Tal como se ha analizado anteriormente, esto puede incluir una o más longitudes de onda de luz procedentes de una fuente de excitación que se reflejan en la superficie diana, y/o una o más longitudes de onda de luz que irradian desde la capa luminiscente debido a la fluorescencia, electroluminiscencia, quimioluminiscencia o cualquier otro mecanismo adecuado, de modo que la capa luminiscente emite luz de la forma descrita en la etapa 502. La capa luminiscente puede incluir una capa fluorescente que emite luz a la primera longitud de onda y a la segunda longitud de onda en respuesta a una fuente de luz de excitación, de manera que la excitación de la capa luminiscente de la forma descrita en este documento incluye excitar la capa fluorescente con la fuente de luz de excitación para dar una emisión fluorescente desde la capa fluorescente. La capa luminiscente se puede excitar con una fuente de excitación tal como una fuente de luz de banda ancha o cualquier otra fuente de luz que proporcione luz a una o más longitudes de onda diferentes de la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda. Asimismo, o de manera alternativa, la fuente de luz de excitación puede incluir uno o más láseres, uno o más diodos emisores de luz, una lámpara incandescente, etc. en otro aspecto, en el objeto o la superficie diana se puede incorporar una guía de ondas, por lo que actúan directamente como capa luminiscente.

Como se muestra en la etapa 508, el método 500 puede incluir la medición de una intensidad de la primera longitud de onda y una intensidad de la segunda longitud de onda en una dirección de una ubicación en la superficie diana con el sensor que, por ejemplo, puede ser uno de los sensores descritos más arriba.

Como se muestra en la etapa 510, el método 500 puede incluir la determinación de un grosor del medio en la dirección de la ubicación, basada en una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda. Se debe entender que la verdadera relación entre intensidades de longitudes de onda y grosor puede depender de una serie de factores tales como la naturaleza de la capa luminiscente, el coeficiente de atenuación de diversas longitudes de onda por el medio, una intensidad de la fuente de excitación, etc. Cuando el sensor proporciona mediciones de una pluralidad de ubicaciones de píxeles (correspondientes a una pluralidad de ubicaciones en la superficie diana), se puede usar una matriz bidireccional de tales mediciones de intensidad para obtener una matriz bidireccional de los cálculos de grosor.

A continuación, se ofrece un desarrollo analítico más detallado para calcular o determinar el grosor, usando una superficie fluorescente. Las características de fluorescencia de una superficie diana y las características del medio de absorción se pueden seleccionar de tal manera que una parte del espectro de fluorescencia sea absorbida en mayor medida que otras partes del espectro de fluorescencia. Por ejemplo, cuando se miden dos bandas de intensidad (denominadas también simplemente como intensidades en este documento) centradas en las longitudes de onda  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$ , los coeficientes de absorción del medio  $\epsilon_{\lambda_1}$  y  $\epsilon_{\lambda_2}$  deben ser diferentes. Cuando una banda centrada en torno a  $\lambda_1$  es la banda preferiblemente absorbida, entonces  $\epsilon_{\lambda_1} > \epsilon_{\lambda_2}$ . Las intensidades medidas homologadas de las dos bandas de longitud de onda que se transmiten desde la superficie fluorescente hasta un sensor de imágenes situado a distancia  $d$  en el interior del medio (o  $d$  a través del medio para un sensor situado fuera del medio) y alejado de la superficie se puede describir por medio de las ecuaciones siguientes:

$$\overline{I_{\lambda_1}}(d) = \frac{I_{\lambda_1}(d)}{I_{\lambda_1,x=0}} = e^{-\epsilon_{\lambda_1}Cd} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\overline{I_{\lambda_2}}(d) = \frac{I_{\lambda_2}(d)}{I_{\lambda_2,x=0}} = e^{-\epsilon_{\lambda_2}Cd} \quad (\text{Ecuación 2})$$

La intensidad de las bandas en la superficie fluorescente,  $I_{\lambda_1,x=0}$  e  $I_{\lambda_2,x=0}$ , depende solamente de las propiedades de fluorescencia en la superficie y del espectro e intensidad de la iluminación de excitación. Mediante variaciones de la intensidad de excitación se puede cambiar la intensidad de la fluorescencia en la superficie, y cualquier variación de la relación de  $I_{\lambda_1,x=0}$  e  $I_{\lambda_2,x=0}$  será despreciable. Por lo tanto, se puede tomar la relación (ratio) de las intensidades homologadas de [Ec. 1] y [Ec. 2] anteriores y obtener una expresión que depende exclusivamente de la profundidad y de la concentración y coeficientes de absorción del medio:

$$I_{Ratio}(d) = \frac{\overline{I_{\lambda_1}}(d)}{\overline{I_{\lambda_2}}(d)} = e^{[(\epsilon_{\lambda_2} - \epsilon_{\lambda_1})Cd]} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Llama la atención que la relación de intensidad disminuya exponencialmente a medida que aumenta la distancia a través del medio. Esta relación permite realizar un cálculo de grosor a través del medio. Se verá que, en la práctica, se pueden obtener mediciones reales y adaptadas a esta relación usando cualquiera de las técnicas adecuadas con el fin de proporcionar mediciones calibradas de grosor a partir de un sistema de trabajo.

Como se muestra en la etapa 512, el método 500 puede incluir la reconstrucción de una imagen tridimensional de la superficie diana. Esto puede incluir, por ejemplo, construir una imagen tridimensional de la región de interés con una pluralidad de mediciones desde el sensor, usando cualquiera de una variedad de restricciones geométricas, junto con el grosor del medio calculado de las mediciones de intensidad. Las restricciones geométricas pueden incluir, por ejemplo, cualquier información espacial sobre los límites del medio tales como al menos una superficie conocida del medio, que se puede combinar con una o más mediciones de grosor (y una dirección para las mismas) para derivar un punto superficial en la superficie diana. Se verá que la al menos una superficie conocida puede ser una cualquiera de una variedad de superficies en las diversas realizaciones que se discuten en este documento, cuando se conoce la información espacial sobre la superficie (o, más específicamente, el límite superficie-medio). De esta forma, por ejemplo, una superficie conocida puede ser una superficie superior expuesta de un tanque que contiene el medio en forma líquida, o una superficie lateral interior o una superficie inferior de un recipiente transparente del medio. También, o de forma alternativa, la superficie conocida puede incluir una lente de cámara u otro elemento óptico que separa los sensores de un medio gaseoso. Más en general, cualquier límite espacial del medio que sea conocido o pueda ser medido puede actuar como la al menos una superficie conocida que se usa en la reconstrucción tridimensional, tal como se describe en los distintos métodos y sistemas de este documento. Adicionalmente, se puede combinar cualquier número de imágenes tridimensionales mediante registro o similar para formar una imagen tridimensional compuesta de parte o la totalidad de la superficie diana.

Se debe entender que son posibles numerosas variaciones del método 500 anterior, incluidas variaciones adaptadas a técnicas particulares de obtención de imágenes. Por ejemplo, cuando se usa un gas como medio, el método 500

5 puede incluir proporcionar una barrera transparente entre la superficie diana y el sensor, con el fin de retener el gas contra la superficie diana. Por ejemplo, el objeto se puede colocar en una cámara transparente, hermética para gases, que se llena con un gas fluorescente. Por medio del uso de mediciones de grosor realizadas desde fuera de la cámara, junto con la información acerca de las dimensiones interiores de la cámara, se puede obtener una  
 5 reconstrucción tridimensional de una superficie diana en el objeto, tal como se ha descrito de manera general en este documento. En otro aspecto, el método 500 puede incluir sumergir la superficie diana en un líquido y situar el sensor sobre la superficie superior del líquido para capturar las mediciones de intensidad de la luz. En estas realizaciones, la posición de la superficie superior del líquido se puede determinar fácilmente y usarla como una base para convertir las mediciones de grosor en una reconstrucción tridimensional.

10 De modo más general, se verá que el método 500 descrito anteriormente se presenta a manera de ejemplo y no como limitación. Adicionalmente, el orden o la presentación de estas etapas en la descripción y los dibujos no pretenden que se siga ese orden en la realización de las citadas etapas, excepto en los casos en que se requiere expresamente un orden particular, o esto resulte evidente a partir del contexto.

15 De esta forma, por ejemplo, se puede aplicar una capa luminiscente a una diana antes o después de distribuir un medio entre la diana y el sensor, dependiendo de la manera como se aplique esta capa. Como un ejemplo adicional, el medio puede estar distribuido entre una diana y un sensor, o la diana puede estar sumergida en un tanque del medio en forma líquida, lo cual logra el mismo propósito que colocar el medio contra la superficie a los efectos de mediciones de grosor exactas. Como otro ejemplo, se puede insertar una cámara en un recipiente de líquido con la diana, en cuyo caso la medición de grosor se puede iniciar en la lente de la cámara. Otro ejemplo puede incluir  
 20 proporcionar otra información de límite para el medio tal como una ubicación de superficie líquida, una ubicación de barrera transparente a través de la cual se puede medir el medio, etc. Como otro ejemplo más, la excitación de la capa luminiscente puede incluir la activación de una capa luminiscente en la superficie por medio de fluorescencia, fosforescencia, electroluminiscencia, quimioluminiscencia, etc.

25 Fig. 6 es un diagrama de flujo de un método para la obtención de imágenes tridimensionales usando una sola tinción fluorescente, que no forma parte de la presente invención.

30 Como se muestra en la etapa 602, el método 600 puede incluir la distribución de un medio entre una superficie diana y un sensor, en donde el medio incluye una única sustancia fluorescente que tiene un espectro de emisión de fluorescencia que se solapa en longitud de onda con un espectro de absorción distinto de cero del medio. Por ejemplo, el medio puede tener absorción cero a la segunda longitud de onda. La sustancia fluorescente única puede ser fluoresceína sódica, que posee espectros de emisión y absorción como los que se han ilustrado anteriormente. Con el uso de esta u otra sustancia fluorescente similar, la primera longitud de onda puede ser de aproximadamente 510 nanómetros y la segunda longitud de onda puede ser de aproximadamente 540 nanómetros. En otro ejemplo, la sustancia fluorescente única puede incluir puntos cuánticos u otros agentes de centelleo que emiten radiación en respuesta a la radiación electromagnética incidente. En diversos ejemplos, el medio puede incluir un líquido, un gas,  
 35 un sólido y/o un gel, con adaptaciones apropiadas al hardware asociado. Por ejemplo, cuando el medio es un gas, el método 600 puede incluir proporcionar una barrera transparente u otro entorno tal como se ha descrito anteriormente. Cuando el medio es un líquido, el método 600 puede incluir sumergir la superficie diana en el líquido y situar el sensor por encima del líquido.

40 Como se muestra en la etapa 604, el método 600 puede incluir excitar la sustancia fluorescente única para dar una emisión fluorescente, por ejemplo dirigiendo una fuente de luz de banda ancha o uno o más diodos emisores de luz hacia la tinción fluorescente y/o en la dirección de la superficie diana.

45 Como se muestra en la etapa 606, el método 600 puede incluir medir la emisión fluorescente con el sensor en una dirección de una ubicación en la superficie diana, incluida la medición de una intensidad a una primera longitud de onda y una intensidad a una segunda longitud de onda, en donde el medio tiene un coeficiente de atenuación diferente para la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda. Cuando se emplea una cámara convencional u otro dispositivo de sensor con una matriz bidimensional de píxeles, la medición de la emisión fluorescente puede incluir medir la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda a partir de una pluralidad de ubicaciones en la superficie diana a una pluralidad correspondiente de ubicaciones de píxeles en el interior del sensor, proporcionando así una matriz bidireccional de mediciones de grosor.

50 Como se muestra en la etapa 608, el método 600 puede incluir la determinación de un grosor del medio en la dirección de la ubicación, basada en una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda. Esto puede incluir, por ejemplo, calcular una relación de la intensidad de la primera longitud de onda con respecto a la intensidad de la segunda longitud de onda.

55 Para el caso en que la obtención de imágenes tridimensionales se lleva a cabo usando un medio que contiene una sustancia fluorescente cuyos espectros de absorción y emisión se solapan, el grosor se puede medir considerando la relación de intensidad de dos bandas fluorescentes centradas en torno a las longitudes de onda  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$ , con la condición de que el medio produzca una auto-reabsorción preferencial de una banda fluorescente sobre la otra. Suponiendo que solamente la banda centrada alrededor de  $\lambda_1$  experimenta auto-reabsorción, entonces  $\epsilon_{\lambda,1}$  es algún valor positivo finito y  $\epsilon_{\lambda,2} \approx 0$ .

En cualquier punto, a una distancia  $x$  desde el sensor (o una distancia  $x$  en el medio), la intensidad de la iluminación de excitación  $I_e(x)$  viene dada por:

$$I_e(x) = I_o e^{-\varepsilon_{\lambda_e} C x} \quad (\text{Ecuación 4})$$

5 en donde  $I_o = I_e(0)$  es la intensidad de excitación en la ubicación del sensor y  $\varepsilon_{\lambda_e}$  es el coeficiente de absorción del medio a la longitud de onda de excitación  $\lambda_e$ .

Las emisiones de fluorescencia aportadas por un elemento diferente dentro del medio, en las dos bandas centradas alrededor de las longitudes de onda  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  vienen dadas por:

$$dI_{f1} = I_e(x) \varepsilon_{\lambda_e} C \Phi \eta_1 dx \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$dI_{f2} = I_e(x) \varepsilon_{\lambda_e} C \Phi \eta_2 dx \quad (\text{Ecuación 6})$$

10 en donde  $\Phi$  es la eficiencia cuántica del medio, o relación de la energía emitida con respecto a la energía absorbida, y  $\eta_1$  y  $\eta_2$  son las emisiones relativas del medio a las dos longitudes de onda  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$ . Si  $\varepsilon_{\lambda_1} > 0$  y  $\varepsilon_{\lambda_2} \approx 0$ , la banda de la primera longitud de onda experimentará absorción, en tanto que la segunda banda no lo hará. Cuando la intensidad de la iluminación de excitación es mucho mayor que cualquier emisión fluorescente, se puede despreciar cualquier incremento de intensidad tanto de la banda de longitud de onda reabsorbida como de la banda de longitud de onda no reabsorbida. En consecuencia, las ecuaciones de intensidad de fluorescencia diferencial que incluyen la reabsorción de la banda  $\lambda_1$  se pueden expresar como:

$$dI_{f1} = I_o e^{-\varepsilon_{\lambda_e} C x} \varepsilon_{\lambda_e} C \Phi \eta_1 e^{-\varepsilon_{\lambda_1} C x} dx \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$dI_{f2} = I_o e^{-\varepsilon_{\lambda_e} C x} \varepsilon_{\lambda_e} C \Phi \eta_2 dx \quad (\text{Ecuación 8})$$

20 Para calcular las intensidades de fluorescencia a una distancia  $d$  desde el sensor (o a través del medio en una dirección particular desde el sensor), estas ecuaciones se pueden integrar desde  $x = 0$  hasta  $x = d$ :

$$I_{f1}(d) = \frac{I_o \varepsilon_{\lambda_e} \Phi \eta_1 [1 - e^{(-\varepsilon_{\lambda_e} - \varepsilon_{\lambda_1}) C d}]}{\varepsilon_{\lambda_e} + \varepsilon_{\lambda_1}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$I_{f2}(d) = I_o \Phi \eta_2 [1 - e^{-\varepsilon_{\lambda_e} C d}] \quad (\text{Ecuación 10})$$

Se puede tomar la relación de las dos mediciones de fluorescencia para obtener una relación entre profundidad y las longitudes de onda medidas:

$$25 \quad I_{Ratio}(d) = \frac{I_{f1}(d)}{I_{f2}(d)} = \frac{\varepsilon_{\lambda_e} \eta_1 [1 - e^{(-\varepsilon_{\lambda_e} - \varepsilon_{\lambda_1}) C d}]}{\eta_2 [1 - e^{-\varepsilon_{\lambda_e} C d}] (\varepsilon_{\lambda_e} + \varepsilon_{\lambda_1})} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Esta relación permite un cálculo de grosor a través del medio. Se verá que en la práctica es posible obtener mediciones reales adaptadas a esta relación, usando cualquier técnica adecuada con el fin de proporcionar mediciones de grosor calibradas a partir de un sistema de trabajo.

30 Como se muestra en la etapa 610, el método 600 puede incluir la construcción de una imagen tridimensional de una región de interés, con una pluralidad de mediciones desde el sensor, usando una cualquiera de una variedad de restricciones geométricas tales como límites conocidos del medio o un recipiente, por lo tanto, junto con grosores del medio, según se ha calculado de las mediciones de intensidad. Además, se puede combinar una serie de imágenes tridimensionales por medio de un registro o similar para formar una imagen tridimensional de una parte o la totalidad de la superficie diana.

35 Se podrá observar que el método 600 descrito más arriba se presenta a modo de ejemplo y no como limitación. Para el experto en la técnica resultarán evidentes numerosas variaciones, adiciones, omisiones y otras modificaciones. Además, el orden de presentación de estas etapas en la descripción y dibujos no pretende exigir que se aplique ese

orden en la realización de las citadas etapas, excepto que se requiera expresamente un orden particular o esto resulte evidente por el contexto. De esta forma, por ejemplo, se puede excitar una superficie fluorescente u otra superficie luminiscente antes de distribuir un medio entre una diana y un sensor, o se puede sustituir fácilmente la sustancia fluorescente con una sustancia fosforescente.

5 Fig. 7 es un diagrama de flujo de un método de obtención de imágenes tridimensionales basado en la absorción, que no forma parte de la presente invención. En este método 700, se usa un color predeterminado de la superficie diana, en combinación con una fuente de luz de banda ancha, para obtener un reflejo a dos longitudes de onda, una de las cuales resulta más atenuada que la otra por un medio interpuesto. Se puede utilizar una variedad de colores predeterminados. Por ejemplo, el color puede ser un color específico (por ejemplo, azul), o el color puede ser desconocido, con la condición de que sea uniforme sobre la superficie diana. En otras realizaciones, se puede usar una distribución de color conocida de manera que se proporcionen diferentes niveles o ganancias de medición.

10 Como se muestra en la etapa 702, el método 700 puede comenzar con la distribución de un medio entre una superficie diana y un sensor, en donde la superficie diana tiene un color predeterminado en una región de interés, que puede ser cualquier zona dentro de una superficie diana de un objeto. El medio se puede distinguir por un primer coeficiente de atenuación a una primera longitud de onda y un segundo coeficiente de atenuación, diferente del primer coeficiente de atenuación, a una segunda longitud de onda. El primer coeficiente de atenuación puede ser cero o, más en general, tener cualquier valor menor que el segundo coeficiente de atenuación.

15 El sensor puede ser uno cualquiera de los sensores descritos anteriormente, adecuado para capturar una intensidad a la primera longitud de onda y a la segunda longitud de onda. En un aspecto, el sensor puede ser una matriz CCD o similar, que mide la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda a partir de una pluralidad de ubicaciones dentro de la región de interés a una correspondiente pluralidad de ubicaciones de píxeles en el sensor, proporcionando de este modo una matriz bidimensional de mediciones de grosor.

20 En un ejemplo, el medio puede ser uno cualquiera de los medios que se han descrito anteriormente tales como un sólido, un líquido, un gel o un gas. El medio puede incluir cualquier sustancia o combinación de sustancias que dé como resultado diferentes coeficientes de atenuación a las primera y segunda longitudes de onda. Cuando el medio es un gas, el método 700 puede incluir proporcionar una barrera transparente entre la superficie diana y el sensor, para retener el gas contra la superficie diana. Cuando el medio es un líquido, el método 700 puede incluir sumergir la superficie diana en el líquido y situar el sensor por encima de una superficie superior del líquido.

25 Como se muestra en la etapa 704, el método 700 puede incluir iluminar una ubicación en la región de interés, por ejemplo con una fuente de luz de banda ancha, un láser, uno o múltiples diodos emisores de luz o, de manera más general, con cualquier fuente de excitación capaz de iluminar la ubicación de forma que permita la captura de longitudes de onda reflejadas en el sensor. En otro ejemplo, la iluminación de la ubicación puede incluir iluminar con una o más de una sustancia quimioluminiscente, una sustancia electroluminiscente y una guía de ondas óptica en la superficie diana. Cuando la fuente de iluminación está dispuesta en la superficie diana o dentro del objeto, se observará que esta fuente puede impartir por sí misma el color predeterminado sobre el cual se basan los cálculos de grosor.

30 Como se muestra en la etapa 706, el método 700 puede incluir medir una intensidad de la primera longitud de onda y una intensidad de la segunda longitud de onda en una dirección de la ubicación con el sensor. El método 700 puede incluir filtrar una o más longitudes de onda de luz entre el medio y el sensor, usando por ejemplo cualquiera de los filtros de sensor descritos anteriormente. Igualmente, o de manera alternativa, el método 700 puede incluir atenuar la luz a una o más longitudes de onda adicionales con una variedad de propósitos tales como filtrar o conformar una fuente de luz de banda ancha, o producir una atenuación dentro del medio con el fin de permitir la realización de mediciones adicionales a otras longitudes de onda, que se pueden usar para mejorar la exactitud global mediante la aportación de mediciones de grosor adicionales en una ubicación de píxel.

35 Como se muestra en la etapa 708, el método 700 puede incluir la determinación de un grosor del medio en la dirección de una ubicación, basada en una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda, calculando, por ejemplo, una relación de la intensidad de la primera longitud de onda con respecto a la intensidad de la segunda longitud de onda y utilizando esta relación para determinar el grosor. A continuación, se ofrece un desarrollo analítico más detallado para cálculos de grosor en este contexto.

40 En un método basado en la absorción como el que se describe en este documento, se pueden seleccionar dos bandas de intensidad centradas en las longitudes de onda  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$ , en donde los coeficientes de absorción de un medio,  $\epsilon_{\lambda,1}$   $\epsilon_{\lambda,2}$  son diferentes, de manera que una banda es absorbida de forma preferencial con respecto a la otra (o, dicho de modo alternativo, se puede seleccionar un medio con absorción diferencial a las longitudes de onda deseadas). La fuente de iluminación puede contener las longitudes de onda  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$ , y las propiedades de la superficie pueden ser tales que estas dos bandas se reflejen fácilmente de vuelta hacia el sensor. Siempre que la superficie tenga un color uniforme conocido, u otro tipo de patrón de color conocido, la relación de intensidades variará de manera predecible con el grosor del medio.

5 Cuando se calcule, en este contexto, la geometría tridimensional, se deben tomar en consideración la geometría del sensor y la fuente de iluminación porque las longitudes de onda son absorbidas en el mismo momento en que los rayos de la fuente de iluminación comienzan a atravesar un medio de absorción. El caso más sencillo comprende un ensamblaje óptico de obtención de imágenes coaxiales y una fuente de iluminación. En esta situación, la distancia de absorción recorrida es simplemente igual al doble de la distancia desde el sensor hasta la superficie (o desde el límite del medio hasta la superficie diana), de modo que la [Ec. 3] anterior se convierte en:

$$I_{Ratio}(d) = \frac{\overline{I_{\lambda_1}}(d)}{\overline{I_{\lambda_2}}(d)} = \frac{R_1}{R_2} e^{[(\epsilon_{\lambda_2} - \epsilon_{\lambda_1})C \cdot 2d]}$$

(Ecuación 12)

10 En este caso,  $R_1$  y  $R_2$  son las reflectividades de la superficie a las longitudes de onda  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$ , respectivamente. Debido a que la relación de intensidad disminuye exponencialmente a medida que aumenta la distancia a través del medio, esta relación permite realizar un cálculo del grosor a través del medio. Se verá que, en la práctica, se pueden obtener mediciones reales adaptadas a esta relación, usando cualquier técnica, con el fin de proporcionar mediciones calibradas de grosor a partir de un sistema de trabajo.

15 Como se muestra en la etapa 710, el método 700 puede incluir la reconstrucción de una imagen tridimensional de la superficie diana. Esto puede incluir, por ejemplo, construir una imagen tridimensional de la región de interés con una matriz bidimensional de mediciones de grosor (por ejemplo, a partir de una matriz bidimensional de mediciones del sensor). Además, puede incluir construir una imagen tridimensional de la superficie diana a partir de una pluralidad de imágenes tridimensionales de una pluralidad de regiones de interés, por ejemplo registrando o combinando de otra forma múltiples imágenes tridimensionales.

20 Se podrá apreciar que el método 700 descrito anteriormente se presenta a modo de ejemplo y no de limitación. Para el experto en la técnica resultarán evidentes numerosas variaciones, adiciones, omisiones y otras modificaciones. Además, el orden de presentación de estas etapas en la descripción y los dibujos no pretende exigir que se aplique este orden en la realización de las citadas etapas, a menos que se requiera expresamente un orden particular o esta condición resulte evidente del contexto. De esta forma, por ejemplo, un sistema puede medir la intensidad a través del medio a tres o más longitudes de onda diferentes, con el fin de mejorar la exactitud. Como ejemplo adicional, la reconstrucción tridimensional puede incluir localizar una o más superficies límites del medio, empleando cualquier número de elementos de referencia dentro de una cámara de obtención de imágenes que soporta el medio. Como otro ejemplo más, el color o patrón de color de la superficie diana puede estar predeterminado por medio de la captura de una imagen de color de la superficie diana sin un medio interpuesto, que absorba selectivamente longitudes de onda particulares. Esta imagen inicial puede proporcionar el patrón de color predeterminado que se necesita para subsiguientes cálculos de grosor cuando se introduzca un medio de absorción selectiva entre la superficie diana y un sensor. Por ejemplo, la imagen en color se puede capturar a partir del mismo o de los mismos sensores que se han usado para capturar los datos de intensidad para los cálculos de grosor, o a partir de una cámara de color o un elemento similar separado. Se pretende que todas estas modificaciones estén comprendidas dentro del alcance de esta descripción, que se debe interpretar en un sentido no limitante.

25 Fig. 8 ilustra un método complementado con un ordenador, que no forma parte de la presente invención, para la obtención de imágenes tridimensionales, empleando la técnica que se ha descrito anteriormente. El método 800 se puede implementar, por ejemplo, como un producto de un programa informático incorporado en un medio legible por ordenador que cuando se ejecuta en uno o más dispositivos informáticos lleva a cabo las etapas citadas.

30 Como se muestra en la etapa 802, el método 800 puede iniciarse caracterizando un color sobre una región de interés en una superficie diana para proporcionar un color predeterminado para la región de interés. Con el fin de llevar a cabo cálculos de grosor de la forma descrita en esta realización, los cálculos aprovechan un color conocido de la superficie diana (o, más específicamente, una reflectancia conocida de dos o más longitudes de onda específicas, si bien estas dos nociones algo diferentes se tratan como iguales a los efectos de esta descripción). Cuando la superficie diana tiene un color conocido uniforme, el color predeterminado se puede caracterizar en la memoria del ordenador como uno o más valores escalares que describen el color para toda la superficie diana (por ejemplo, con una longitud de onda o componentes RGB específicos de un color medido), o que describen una reflectancia en la superficie a dos o más longitudes de onda a las que se toman las mediciones. Cuando se utiliza un patrón variable o similar, el color predeterminado se puede almacenar como una matriz que caracteriza la distribución espacial del patrón de color sobre la superficie diana.

35 Como se muestra en la etapa 804, el método 800 puede incluir, además, caracterizar un primer coeficiente de atenuación a una primera longitud de onda y un segundo coeficiente de atenuación a una segunda longitud de onda de un medio distribuido entre la superficie diana y un sensor. Estos valores se usan para evaluar la atenuación (esperada) de la luz reflejada desde la superficie diana hacia el sensor, de modo que se pueda calcular el grosor. En general, los coeficientes de atenuación se pueden prever en base al medio y a cualquier sustancia mezclada o distribuida de cualquier otra forma en el medio, o los coeficientes de atenuación se pueden medir usando cualquier técnica adecuada, por ejemplo en un proceso de calibración o similar.

Como se muestra en la etapa 806, se pueden recibir mediciones desde el sensor, que puede ser cualquiera de los sensores, matrices de píxeles u otros sensores descritos anteriormente, que captura la intensidad en una dirección de una ubicación en la región de interés. Las mediciones de una intensidad a la primera longitud de onda y una intensidad a la segunda longitud de onda se pueden proporcionar como señales a un procesador (o memoria asociada con un procesador) para usar en cálculos subsiguientes.

Como se muestra en la etapa 808, el método 800 puede incluir el cálculo de un grosor del medio en la dirección de la ubicación, basado en una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda. Anteriormente, se han descrito cálculos apropiados.

Como se muestra en la etapa 810, y como se describe de manera más general en párrafos anteriores, se puede obtener una reconstrucción tridimensional de la superficie diana. En este proceso de reconstrucción, las mediciones de grosor se pueden convertir en una imagen tridimensional de la superficie diana, usando por ejemplo una combinación de mediciones de grosor y la direccionalidad asociada, junto con información sobre la geometría del medio a través del cual se capturan las mediciones de grosor. Igualmente, se pueden agregar imágenes tridimensionales individuales a una imagen tridimensional compuesta, empleando cualquier técnica de registro adecuada.

Se podrá apreciar que el método 800 descrito más arriba se presenta a modo de ejemplo y no de limitación. Para el experto en la técnica resultarán evidentes numerosas variaciones, adiciones, omisiones y otras modificaciones. Además, el orden o presentación de estas etapas en la descripción y dibujos no pretende que se deba seguir exactamente este orden en la realización de las citadas etapas, a menos que se requiera expresamente un orden particular o éste resulte evidente del contexto. De esta forma, por ejemplo, la caracterización de un color de una superficie diana puede incluir la obtención de una imagen de la superficie diana con hardware espectroscópico que ofrezca información suficiente sobre las características de la superficie (sin un medio de atenuación interpuesto) para permitir la realización de mediciones de grosor basadas en la atenuación. Además, la caracterización del color, así como los coeficientes de atenuación, se pueden llevar a cabo antes, durante o después de la captura de información de intensidad específica de la longitud de onda.

Fig. 9 muestra un método para usar una sola cámara para medir grosores. Se verá que el método 900, descrito con referencia a la Fig. 9, se puede realizar con una cámara y un procesador acoplados entre sí y que operan de la forma descrita, o el método 900 se puede representar con un producto de programa informático que incluye un código ejecutable en un ordenador que, cuando se ejecuta en uno o más dispositivos informáticos, lleva a cabo las etapas mencionadas.

Como se muestra en la etapa 902, el método 900 puede iniciarse con la recepción de una imagen en color desde una cámara. La cámara puede ser, por ejemplo, cualquier cámara a color disponible en el comercio que proporcione una imagen bidimensional que contenga mediciones de intensidad, por ejemplo, a una longitud de onda roja, a una longitud de onda verde y a una longitud de onda azul. De manera alternativa, la cámara puede ser una cámara a color disponible en el comercio que proporcione una imagen bidimensional que contenga mediciones de intensidad a una longitud de onda cian, una longitud de onda magenta y una longitud de onda amarilla. Se debe entender que cada una de tales mediciones de intensidad puede representar, en el orden práctico, una intensidad a través de un intervalo de longitudes de onda detectadas por los sensores correspondientes, que pueden ser mediciones de banda relativamente ancha o estrecha en torno a las respectivas frecuencias centrales roja, verde y azul, según los filtros, la sensibilidad del sensor y otras características del hardware y del procesamiento de la cámara. La imagen bidimensional puede adoptar cualquier número de formas tales como tres matrices de valores de píxeles para cada una de las imágenes roja, verde y azul.

Como se muestra en la etapa 904, el método 900 puede incluir el procesamiento de la imagen de color para determinar, para cada uno de una pluralidad de píxeles de la cámara, una intensidad a la primera longitud de onda y una intensidad a la segunda longitud de onda. Cuando la cámara proporciona una medición directa de las longitudes de onda de interés, por ejemplo, por medio del uso correspondiente de filtros, estos valores se pueden usar directamente en los cálculos de grosor subsiguientes. Cuando, por el contrario, la cámara proporcione datos RGB o CMY, las longitudes de onda de interés se pueden inferir de los valores discretos de color contenidos en la imagen.

Como se muestra en la etapa 906, el método 900 puede incluir calcular un grosor de un medio en una dirección desde la cámara correspondiente a uno de la pluralidad de píxeles, basado en la intensidad a la primera longitud de onda y la intensidad a la segunda longitud de onda, junto con un coeficiente de atenuación conocido del medio para cada una de las primera y segunda longitudes de onda. De manera más general, se puede usar cualquiera de las técnicas descritas anteriormente, con una cámara a color convencional y el correspondiente procesamiento adecuado, para capturar mediciones de grosor de la forma que se describe en este documento.

Como se muestra en la etapa 908, el método 900 puede incluir proporcionar una reconstrucción tridimensional de una superficie diana, usando por ejemplo cualquiera de las técnicas descritas anteriormente. La etapa 908 se puede llevar a cabo en el mismo procesador que ofrece los cálculos de grosor, o los datos del grosor se pueden transferir a otro proceso, procesador o máquina que reciba los datos de grosor junto con información geométrica adicional (tal como información de límites para un medio) y reconstruya una imagen tridimensional de una superficie diana. En

una realización, los cálculos de grosor se pueden integrar convenientemente en un único dispositivo que contenga la cámara y el procesador y que ofrezca como resultado una matriz de cálculos de grosor para usar, por ejemplo, en un ordenador de sobremesa que lleve a cabo la subsiguiente reconstrucción tridimensional.

5 Se verá que el método 900 descrito más arriba se presenta a modo de ejemplo y no de limitación. Para el experto en la técnica resultarán evidentes numerosas variaciones, adiciones, omisiones y otras modificaciones. Además, el orden o presentación de estas etapas en la descripción y dibujos no pretende exigir que las etapas citadas se realicen en ese orden, excepto que se requiera expresamente un orden particular o éste resulte evidente del contexto.

10 En otro aspecto, un sistema descrito en este documento puede incluir un medio de obtención de imágenes tal como una cámara o cualquier sensor o colección de sensores similar, como se ha descrito anteriormente para capturar una imagen en color, junto con un medio de procesamiento que incluye cualquiera de los procesadores o similares que se describen en este documento, y que han sido programados para llevar a cabo las etapas de procesamiento de datos anteriores.

15 Fig. 10 ilustra una adaptación de las técnicas descritas en este documento para la obtención de imágenes de un espacio interior tal como un canal auditivo humano. Como se muestra en la Fig. 10, un sistema 1000 puede incluir una membrana inflable 1002 formada sobre un espacio interior 1004 con una superficie interior 1006 y una superficie exterior 1008, un sello 1010 que tiene un primer puerto 1012 y un segundo puerto 1014, un suministro 1016 de un medio 1018, una bomba 1020, una fuente de luz 1022, un sensor 1024 y un ordenador 1025 con un procesador 1026 y hardware adicional 1028. Se entenderá que mientras el sistema 1000 se puede usar con cualquiera de las técnicas de obtención de imágenes descritas en este documento, el sistema 1000 puede estar adaptado también o alternativamente para ser usado en técnicas conocidas de medición de películas tales como ERLIF o cualquier otra tecnología similar.

20 En el funcionamiento general, el suministro 1016 aporta el medio 1018 al espacio interior 1004 de la membrana inflable 1002 bajo presión, de modo que la membrana inflable 1002 se expande hasta llenar un volumen de medición interior (no se muestra). Cuando la membrana inflable 1002 está inflada, de manera que se halla en contacto y adopta la forma de una parte del volumen de medición interior, la fuente de luz 1022 puede iluminar la superficie interior 1006 de la membrana inflable 1002, y el sensor 1024 puede capturar mediciones de intensidad a dos o más longitudes de onda, usando cualquiera de las técnicas descritas de forma general más arriba. Las mediciones resultantes pueden ser recibidas por el procesador 1026 que puede determinar un grosor del medio 1018 en el espacio interior 1004 en una o más ubicaciones en la superficie interior 1006 de la membrana inflable 1002; adicionalmente, estas mediciones de grosor se puede procesar para obtener una imagen tridimensional de una porción de la superficie interior 1006.

35 La membrana inflable 1002 puede ser un globo o similar, formado alrededor de un espacio interior 1004. En general, la membrana inflable 1002 puede ser una membrana elástica formada por cualquier caucho, elástico u otro material que puede estirarse para expandirse cuando se llena con un gas a presión u otro material. En realizaciones, la membrana inflable 1002 puede ser también o alternativamente cualquier membrana expandible, elástica o no elástica, que se pueda presurizar o llenar con material para aumentar un volumen interior (y/o exterior). De esta forma, por ejemplo, la membrana inflable 1002 puede ser una cualquiera de las membranas descritas anteriormente, o una membrana no elástica tal como una membrana expandible formada por una serie de paneles no elásticos y no porosos tales como películas MYLAR o similares. Este método permite que la forma inflada de la membrana inflable 1002 se adapte a la forma o tamaño de una cavidad prevista. En otro aspecto, la membrana inflable 1002 puede tener una forma sustancialmente esférica u ovoide y estar fabricada con un material que permite que la membrana inflable 1002 se estire y expanda hasta llenar una cavidad. Se verá fácilmente que se pueden utilizar globos y otras membranas inflables de diferentes tamaños en diferentes cavidades.

45 La membrana inflable 1002 puede ser no porosa o capaz de retener de otra forma un gas a presión u otro material en su interior, de modo que pueda ser inflado dentro de un volumen interior y, bajo presión, adoptar la forma del volumen interior. En un aspecto, la membrana inflable 1002 puede ser suficientemente flexible y elástica para adaptarse estrechamente a cualquier contorno del volumen interior a medida que se infla dentro del mismo, y suficientemente delgada como para permitir que una medición de la superficie interior 1006 pueda usarse para deducir con precisión una forma de la superficie exterior 1008 cuando se infla la membrana inflable 1002 para que haga contacto con la pared de un volumen interior de este tipo. De manera más general, como membrana inflable 1002 se puede usar cualquier membrana capaz de retener un material dentro de su espacio interior y capaz de expandirse hasta llenar un volumen interior, de manera que se adapte estrechamente a sus contornos superficiales.

55 Se podrá apreciar que muchas variaciones son posibles y que se puede utilizar cualquier superficie de la membrana inflable 1002 para la obtención de imágenes. Por ejemplo, la membrana inflable 1002 se puede fabricar con un material transparente y la superficie exterior 1008 puede estar recubierta con una capa fluorescente o luminiscente. En tales realizaciones, una reconstrucción tridimensional puede justificar el grosor de la membrana inflable 1002 cuando se reconstruya una superficie diana. En otro aspecto, una superficie tal como la superficie interior 1006 puede tener un color predeterminado tal como un color uniforme, conocido o una distribución predeterminada de color para permitir el uso de ciertas técnicas de obtención de imágenes descritas anteriormente. En otro ejemplo, la

60

cavidad de la que se debe obtener una imagen puede tener por sí misma un color conocido, o tener un recubrimiento fluorescente o luminiscente aplicado. Dicha cavidad se puede someter a una obtención de imágenes con una membrana inflable 1002 que sea transparente y contenga uno de los medios de obtención de imágenes descritos más arriba, con los ajustes adecuados para justificar el grosor de la membrana inflable 1002 entre el medio y la superficie de la cavidad.

Se puede usar un sello 1010 para aislar el espacio interior 1004 de un entorno ambiental tal como aire o la presión atmosférica. El sello 1010 puede incluir cualquier número de puertos tales como un primer puerto 1012 y un segundo puerto 1014 para acceder al espacio interior 1004. En determinadas realizaciones, el sello 1010 puede incluir un anillo tórico o similar que permita la omisión del manguito 1015. En tales realizaciones, una junta hermética entre el anillo tórico y los elementos ópticos, electrónicos, etc. que se insertan a través de la misma puede retener el gas a presión (o medio líquido, o similar) en el espacio interior 1004.

El primer puerto 1012 puede ser, por ejemplo, un puerto líquido que tenga un extremo abierto dentro del espacio interior 1004 y puede actuar como puerto de suministro para aportar a presión al espacio interior 1004 un medio tal como un gas o cualquiera de los otros medios descritos anteriormente, de forma que la membrana inflable 1002 se pueda inflar con un medio que se utiliza para facilitar las mediciones de grosor. El primer puerto 1012 puede incluir una válvula 1013 o similar para controlar el suministro de medio 1018 al espacio interior 1004.

El segundo puerto 1014 puede servir como puerto de acceso para elementos ópticos, fuentes de luz, etc. y similares que se puedan insertar en el espacio interior 1004 para capturar los datos de mediciones de grosor. El segundo puerto 1014 puede estar acoplado con un manguito 1015 que contiene físicamente el hardware que se inserta y se retira del espacio interior 1004. En un aspecto, el manguito 1015 puede ser un manguito elástico o extensible que está acoplado con la fuente de luz 1022 y/o el sensor 1024 y que permite que la fuente de luz 1022 y/o el sensor 1024 tengan acceso al espacio interior 1004 de la membrana inflable 1002 cuando está inflada. En otro aspecto, el manguito 1015 puede ser una estructura rígida y transparente o similar, que define un espacio de acceso 1017 al interior de la membrana inflable 1002 y que está físicamente aislada del resto del espacio interior 1004 que se encuentra presurizado y relleno de medio. De esta manera, se pueden insertar y retirar libremente del espacio interior 1004 (o, de forma más precisa, del espacio de acceso 1017 dentro del espacio interior 1004) un suministro de elementos ópticos tales como un haz de fibra óptica o similar, lentes, filtros u otros elementos ópticos, sensores, fuentes de luz, elementos electrónicos (por ejemplo, para la operación de los sensores y/o fuentes de luz), cables u otros elementos de conexión eléctrica a una fuente de energía, etc., mientras se preserva el sello 1010 de la membrana 1002 y se retiene, por ejemplo, un gas a presión o similar. En otro aspecto, el manguito 1015 (o una ventana, ventanilla o similar dentro del manguito 1015) puede tener un índice de refracción muy similar al del medio, de forma que tiene sustancialmente el mismo índice de refracción que el medio. Esto puede ofrecer una vía óptica sustancialmente libre de distorsión hacia el espacio interior 1004 que está relleno de medio.

El suministro 1016 puede ser cualquier depósito, tanque u otro recipiente que contiene un suministro de medio 1018, que puede ser cualquiera de los medios descritos anteriormente tales como un gas, líquido, gel o similar. En general, el suministro 1016 puede ser cualquier suministro capaz de aportar el medio 1018 a presión. En realizaciones, el suministro 1016 puede incluir un bomba 1020 u otro dispositivo para aportar el medio 1018 a través del primer puerto 1012 y hacia el espacio interior 1004 bajo presión o, de manera similar, de retirar el medio 1018 del espacio interior 1004. La bomba 1020 puede ser cualquier dispositivo electromecánico capaz de suministrar el medio 1018 a presión e incluye una bomba de tipo rotatorio, una bomba peristáltica, una bomba de tipo reciprocante, una bomba centrífuga, una bomba de chorro de eyector, una bomba de pistón hidráulico, etc. El suministro 1016 puede incluir un control de usuario, que se puede activar a distancia por medio del ordenador 1025 o estar presente como un interruptor, botón, dial, o similar en el suministro 1016 que controla eléctricamente la bomba 1020. En determinadas realizaciones, el suministro 1016 puede incluir un émbolo, palanca, botón o dispositivo similar para la aplicación manual de presión al medio 1018, o para otro suministro mecánico (también bajo presión) del medio 1018, cualquiera de los cuales pueden servir como bomba 1020 tal como se utiliza el término en este documento. Más en general, el suministro 1016 puede estar acoplado con el espacio interior 1004 de cualquier manera que permita el aporte selectivo de medio 1018 en el espacio interior 1004. Por ejemplo, la bomba 1020 puede suministrar el medio 1018 con una presión controlada, o puede suministrar un volumen controlado del medio 1018, o puede funcionar de acuerdo con cualquier otro criterio adecuado. En otro aspecto, el suministro 1016 puede ser un recipiente elástico presurizado que se contrae para aportar el medio 1018.

La fuente de luz 1022 puede incluir cualquiera de las fuentes de luz que se han descrito anteriormente. En un aspecto, en el que la membrana inflable 1002 se hace luminiscente, se puede omitir la fuente de luz 1022 en el espacio de acceso 1017. En un aspecto, la fuente de luz 1022 puede tener una forma y tamaño apropiados para la inserción en el espacio de acceso 1017 (a través del segundo puerto 1014) o estar situada de cualquier otra forma dentro del espacio interior 1004. En otro aspecto, la fuente de luz 1022 puede ser, por ejemplo, una capa luminiscente distribuida sobre la superficie interior 1006 o, de manera directa, sobre una superficie plana de una cavidad interior, o la fuente de luz 1022 puede estar situada en el sello 1010 o en cualquier otra ubicación para conseguir la iluminación de una ubicación sobre una superficie plana de la membrana inflable 1002, adecuada para las técnicas de medición que se describen en este documento.

El sensor 1024 puede incluir uno cualquiera de los sensores descritos anteriormente. El sensor 1024 puede tener la forma y el tamaño adecuados para la inserción en el espacio de acceso 1017 a través del segundo puerto 1014, o ser insertado de cualquier otra forma en el espacio interior 1004 de la membrana inflable 1002. En un aspecto, se puede usar un fibroscopio o boroscopio (ya sea dentro del espacio de acceso 1017 o con el manguito 1015 acoplado al mismo), opcionalmente con cualquier lente adecuada tal como un prisma o una superficie espejada con una punta cónica, parabólica, angulada o de otro tipo (que puede tener un índice de refracción comparable al del medio 1018). Se debe entender que en tales realizaciones, el sensor 1024 puede tener un campo de visión que captura mediciones desde una sección transversal cilíndrica del espacio interior. Este hecho puede suponer una geometría altamente diferente y una diferente direccionalidad para las mediciones de intensidad en comparación con una cámara y lente tradicionales, pudiendo ser adecuados los ajustes pertinentes a grupos de mediciones espaciales y cualquier reconstrucción tridimensional subsiguiente.

En algunas realizaciones, se puede agregar a un fibroscopio una punta transparente, de índice de refracción comparable, de dimensiones conocidas, con el fin de mejorar la trayectoria óptica a través del medio 1018. Esto puede permitir el uso de medio de mayor absortividad, con lo que aumenta la resolución de profundidad del sistema a mayores distancias desde la punta. En otras palabras, una punta de este tipo puede desplazar la curva exponencial que rige la relación con respecto a la profundidad de modo que la relación permita mediciones de mayor profundidad.

El ordenador 1025 puede incluir un procesador 1026 tal como cualquiera de los procesadores u otros dispositivos informáticos descritos anteriormente. El ordenador 1025 también puede incluir otro hardware adicional 1028 tales como interfaces de entrada/salida, memoria, etc. El hardware adicional 1028 puede incluir en general cualquier hardware que se acople de forma operativa con el sensor 1024, la fuente de luz 1022 y el suministro 1016. En un aspecto, el hardware adicional 1028 puede incluir un dispositivo electrónico de obtención de imágenes tales como transductores ópticos o una matriz de píxeles con entradas acopladas por fibra óptica con el sensor 1024. En otro aspecto, el hardware adicional 1028 puede incluir una fuente de iluminación acoplada por fibra óptica con la fuente de luz 1022. En otro aspecto, el sensor 1024 y/o la fuente de luz 1022 pueden ser dispositivos electrónicos acoplados electrónicamente con el ordenador 1025 mediante cables o similares. En otro aspecto, la fuente de luz 1022 y el sensor 1024 pueden disponer de autoalimentación y estar acoplados al ordenador 1025 sin necesidad de cables, para el control y el funcionamiento de los mismos. El ordenador 1025 también puede estar acoplado al suministro 1016 y puede controlar el funcionamiento de la bomba 1020 para suministrar el medio 1018 al (y/o retirar el medio 1018 del) espacio interior 1004 de la membrana inflable 1002.

La membrana inflable 1002 puede incluir un tapón 1030 que puede ser un tapón blando y flexible formado por una espuma blanda o una sustancia similar. El tapón 1030 puede proteger un sitio de inserción tal como un canal auditivo humano durante la inserción de la membrana inflable 1002, por ejemplo cuando el manguito 1015 está formado por un material duro que, de otro modo, podría producir molestias o lesiones físicas.

Se entenderá que el sistema 1000 puede incluir también cualquiera de una variedad de otros sensores de estado, sensores espaciales, etc. que cooperarán con el ordenador 1025 en el control del funcionamiento del sistema 1000 y la supervisión del estado del mismo.

En general, el sistema 1000 puede adaptarse al uso con cualquiera de las técnicas de obtención de imágenes descritas anteriormente. Por ejemplo, cuando la técnica de obtención de imágenes utiliza una capa fluorescente aplicada sobre una superficie diana, la membrana inflable 1002 se puede adaptar de manera que la superficie interior 1006, la superficie exterior 1008 o la membrana inflable 1002 incluyan un material fluorescente (tal como cumarina-153, sin limitaciones) o similar. De este modo, en un aspecto se describe en este documento una membrana inflable que incluye una superficie interior fluorescente, en donde esta membrana se puede usar para capturar imágenes tridimensionales de un volumen interior en el que se infla la membrana. De modo similar, se puede emplear un color predeterminado o conocido en la superficie interior, tal como se ha descrito anteriormente en términos generales (si bien pueden ser necesarios ajustes adicionales para el procesamiento cuando, por ejemplo, el color del globo cambia a medida que éste se expande), o el color predeterminado puede estar o ser aplicado a una superficie diana en una cavidad.

El sistema 1000 para mediciones interiores se puede adaptar de forma más específica a un contexto más particular de obtención de imágenes. Por ejemplo, la membrana inflable 1002 puede adoptar una forma y tamaño para la inserción en (e inflado dentro) de un canal auditivo humano o, más específicamente, puede tener una forma comprimida (por ejemplo, no inflada) y adoptar una forma y tamaño para la inserción en un canal auditivo humano, de manera que la membrana inflable 1002 se puede insertar en el canal auditivo, ser inflada y, seguidamente, ser utilizada para la captura de una imagen tridimensional del canal auditivo. De modo más general, el sistema 1000 se puede usar convenientemente para la obtención de imágenes de cavidades biológicas tales como una vejiga, estómago, canal auditivo, etc. o para obtener imágenes de piezas de una máquina tales como cámaras de pistón, tanques y otros recipientes.

En un aspecto, se describe en este documento un sistema que incluye un medio de inflado, un medio de iluminación, un medio de sensor y un medio de procesador. El medio de inflado puede ser el suministro 1016 o cualquier otro medio para inflar la membrana inflable con un medio que absorbe más una primera longitud de onda de luz que una

segunda longitud de onda de luz. El medio de iluminación puede incluir la fuente de luz 1022 descrita anteriormente o cualquier otro medio descrito en este documento para iluminar o excitar de otro modo una superficie de la membrana inflable. El medio de sensor puede incluir el sensor 1024 o cualquier otro medio descrito en este documento para medir una intensidad de la primera longitud de onda y una intensidad de la segunda longitud de onda en una ubicación sobre la superficie cuando es iluminada por el medio de iluminación. El medio de procesador puede incluir un procesador o cualquier otro medio descrito en este documento que esté programado para calcular un grosor del medio en una dirección de la ubicación, basado en una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda.

En determinadas realizaciones, el sistema 1000 puede estar adaptado a la medición de dianas más generales, no sólo de mediciones interiores o canales auditivos. En esas realizaciones, la membrana inflable 1002 se puede desplazar para ponerla en contacto con un objeto remoto, de manera que se adapte a una superficie de dicho objeto. En este caso, la membrana inflable 1002 puede contener o inflarse para contener el medio. Por ejemplo, la membrana inflable 1002 puede incluir una bolsa flexible o altamente deformable que contiene el medio. La membrana inflable 1002 de este tipo puede adaptarse a un objeto de modo que se pueda obtener una imagen tridimensional. Esta técnica se puede utilizar convenientemente, por ejemplo para el control de calidad o la inspección de piezas tales como palas de turbina u otras piezas en las que las dimensiones son de gran importancia. Este método permite efectuar mediciones tridimensionales sin modificar el objeto diana y sin exponer el objeto diana al medio. Se apreciará fácilmente una variedad de usos adicionales, que pretenden estar comprendidos dentro del alcance de la presente descripción.

En algunas realizaciones, el sistema 1000 se puede adaptar de manera que la membrana inflable 1002 incluye más de una cámara. Cada una de estas cámaras puede estar acoplada operativamente a su propio suministro 1016, cada uno de los cuales contiene un medio debidamente adaptado en base a las dimensiones esperadas de la pieza de un canal en la que se dispondrá la membrana inflable 1002 en último término. Por ejemplo, y sin limitación, cabe esperar que una porción externa de un canal auditivo sea más ancha que una porción interna del mismo canal auditivo. Por lo tanto, en aplicaciones en las que interviene un canal auditivo, una primera cámara, correspondiente a una parte externa del canal auditivo, puede llenarse con una cantidad menor de medio de absorción óptica que una segunda cámara, correspondiente a una parte interna del canal auditivo. La adaptación de este tipo permite que la misma fuente de iluminación atraviese distancias mayores a través de la primera cámara (en donde cabe esperar que las distancias sean mayores) que a través de la segunda cámara (en donde se espera que las distancias sean menores). En determinadas realizaciones, las características ópticas de los medios se pueden ajustar con la composición de la tinción y/o la concentración de la tinción, así como con diferentes recubrimientos fluorescentes para cada cámara. El manguito 1015 puede penetrar o atravesar cualquiera de las cámaras y, preferiblemente, tiene un índice de refracción comparable para cada uno de los medios, o se puede proporcionar un manguito separado para cada cámara.

Fig. 11 es un diagrama de flujo de un método para obtener una imagen tridimensional de un espacio interior, que no forma parte de la presente invención. En general, el método 1100 puede incluir situar una membrana inflable tal como cualquiera de las membranas inflables descritas anteriormente en el interior de una cavidad e inflar la membrana con un medio tal como cualquiera de los medios descritos anteriormente. Entonces, con fuentes de iluminación apropiadas y un hardware adecuado para la captura de imágenes, se pueden realizar mediciones de grosor para usar en una reconstrucción tridimensional de las paredes interiores de la cavidad. El método 1100 se puede implementar, por ejemplo, usando el sistema descrito más arriba.

Como se muestra en la etapa 1102, el método puede comenzar con la colocación de una membrana inflable en una cavidad. Se podrá ver que esta etapa se puede adaptar a una serie de cavidades interiores. Por ejemplo, cuando se obtienen imágenes de una cavidad biológica tal como un estómago o vejiga, la membrana se puede comprimir hasta una forma y tamaño que se puedan insertar a través de una abertura natural (tal como la garganta) o a través del orificio de un instrumento quirúrgico tal como un endoscopio o similar. De este modo, la cavidad puede ser un canal auditivo, un estómago, una vejiga o cualquier otra cavidad biológica humana o, más en general, cualquiera de las cavidades descritas anteriormente. Se verá fácilmente que se pueden tener en consideración los tamaños inflado y comprimido de la vejiga y la resolución deseada de una imagen particular para seleccionar un material adecuado para la membrana, el cual puede variar desde materiales elásticos hasta películas no elásticas muy finas y flexibles tales como láminas y diversos elementos compuestos. Por ejemplo, para el uso de la obtención de imágenes de un canal auditivo humano el diámetro del punto de inserción es relativamente grande en comparación con la cavidad que se somete a la obtención de imágenes, pudiéndose usar de manera adecuada una variedad de materiales elásticos.

Asimismo, se entenderá que en distintas técnicas que utilizan una membrana, el material seleccionado para la membrana puede depender en parte de los tipos de superficies previstas y de la exactitud deseada de la imagen de la superficie. En algunas aplicaciones, este detalle puede ser importante y se usarán preferiblemente materiales muy finos y muy elásticos con el fin de obtener una imagen más detallada de la superficie. En otras aplicaciones, puede ser deseable una presión elevada de inflado y, por consiguiente, se pueden preferir materiales resistentes, con independencia de la fidelidad con que se capturen los contornos detallados de la superficie. En general, se conoce una extensa gama de membranas apropiadas que pueden ser adaptadas a diferentes aplicaciones de obtención de imágenes. Se pretende que todas estas variaciones estén comprendidas dentro del alcance de esta descripción.

5 Como se muestra en la etapa 1104, el método 1100 puede incluir inflar la membrana inflable con un medio que absorbe una primera longitud de onda de luz en mayor medida que una segunda longitud de onda de luz. Puede ser, por ejemplo, cualquiera de los medios descritos anteriormente. El inflado se puede llevar a cabo, por ejemplo, con una bomba u otro mecanismo de suministro manual o automatizado, tal como se ha analizado de forma general más arriba. A medida que la membrana inflable se infla, puede adoptar la forma de la cavidad en la que se está expandiendo, y el medio en el interior de la membrana puede facilitar mediciones de grosor que se pueden usar para reconstruir una imagen tridimensional del interior de la cavidad.

10 Como se muestra en la etapa 1106, el método 1100 puede incluir iluminar una superficie de la membrana inflable. Esto puede incluir, por ejemplo, activar una fuente de luz tal como cualquiera de las fuentes de luz descritas más arriba, o activar química o eléctricamente una sustancia luminiscente dentro de la membrana inflable (o dispuesta en una superficie de la misma). Se podrá ver que en distintas realizaciones descritas anteriormente, la iluminación puede estar dirigida a otra superficie tal como la pared de una cavidad que se está sometiendo a obtención de imágenes (por ejemplo, con una membrana transparente y una pared fluorescente de la cavidad). En tales ejemplos, la superficie de la membrana inflable también estaría iluminada, independientemente de la posición de la fuente de iluminación, y se pretende que todas estas variaciones estén comprendidas dentro del alcance de "iluminación" tal como se describe esta etapa en este documento.

20 Como se muestra en la etapa 1108, el método 1100 puede incluir la medición de una intensidad de la primera longitud de onda y una intensidad de la segunda longitud de onda en una dirección de una ubicación en la superficie cuando la superficie está iluminada. Esto puede incluir medir las intensidades de longitudes de onda usando cualquiera de los sensores descritos anteriormente, e incluye, por ejemplo, emplear un fibroscopio de punta cónica o similar para transmitir señales ópticas a través de fibras ópticas a un dispositivo de obtención de imágenes situado fuera de la membrana. En un aspecto, esto puede incluir capturar mediciones en un campo de visión cilíndrico de un fibroscopio.

25 Como se muestra en la etapa 1110, el método 1100 puede incluir calcular un grosor del medio en la dirección de la ubicación, basado en una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda, usando por ejemplo cualquiera de las técnicas descritas anteriormente, de acuerdo con la naturaleza de la superficie, el medio y similares. La etapa 1110 se puede llevar a cabo en cualquier procesador apropiado u otro dispositivo informático o combinación de dispositivos informáticos.

30 Como se muestra en la etapa 1112, el método 1100 puede incluir reconstruir una imagen tridimensional de la superficie sobre la base de las mediciones de grosor y la información disponible sobre límites para el medio. De este modo, por ejemplo, cuando se usa un tubo de plástico transparente u otro manguito rígido y transparente para los sensores y similares, las mediciones de grosor se pueden proyectar desde la interface física del manguito con el medio. La etapa 1112 se puede llevar a cabo en cualquier procesador u otro dispositivo o combinación de dispositivos informáticos.

35 En algunos ejemplos, el método 1100 incluye una repetición en la que la membrana inflable se infla a una primera presión y un cálculo determina un primer grosor del medio, tal como se ha descrito más arriba. Entonces, se vuelve a inflar la membrana inflable, esta vez a una segunda presión, y un cálculo determina un segundo grosor del medio, también como se ha descrito anteriormente. Cuando la primera medición y la segunda medición corresponden al mismo punto de interés de un objeto, y cuando se realiza una pluralidad de tales mediciones para una pluralidad de puntos de interés en el objeto, el método 1100 puede incluir una etapa de generar un mapa de concordancia que muestre las durezas relativas del objeto en los puntos de interés, o la manera con que una cavidad cede a la presión. Por ejemplo, un punto de interés que muestre una variación mayor de grosor (por ejemplo, cede a presión mayor) entre la primera medición y la segunda medición tiene una mayor "cesión" que un punto de interés que muestre menos variación del grosor entre las mediciones. De este modo, la etapa 1112 puede incluir o consistir en el cálculo del mapa de concordancia, y el flujo lógico del método 1100 puede incluir un bucle de retorno desde la etapa 1110 hasta la etapa 1104 para cualquier número de mediciones bajo diferentes presurizaciones.

Fig. 12 muestra una vejiga autoinflable para usar en mediciones interiores. En general, la vejiga autoinflable 1200 puede incluir una membrana 1202 tal como una membrana plegable que incluye muchos elementos del sistema 1000 descrito anteriormente, con las diferencias que se indican a continuación.

50 La membrana 1202 puede estar formada alrededor de un espacio interior 1004 y puede estar construida con un material que recupera su forma original en ausencia de fuerzas externas. Por ejemplo, la membrana 1202 puede estar formada con una aleación con memoria de forma, un sólido visco-elástico o espuma, un polímero con memoria de forma inducida por luz, un caucho con memoria de forma o cualquier otra película, marco, entramado, estructura compuesta exterior y/o interior, o combinación de estructuras que recuperan una forma original. La membrana 1202 puede tener una forma y tamaño (en su forma expandida) que la hagan más grande que una cavidad cuya imagen se debe obtener en una o más dimensiones, de manera que la membrana 1202, cuando está comprimida como membrana comprimida, se puede insertar en la cavidad y ser expandida a continuación para hacerla contactar con la pared interior de la cavidad. De modo más general, durante su funcionamiento, la membrana 1202 puede estar comprimida mediante la aplicación de una fuerza y, seguidamente, ser liberada para expandirse hasta su forma original, de manera que llene la cavidad que se va a someter a la obtención de imágenes. En un aspecto, la

membrana 1202 puede estar fabricada con un material que recupera su forma original bajo condiciones controladas por el usuario tales como una aplicación de calor, humedad, un campo eléctrico, etc. Se entenderá que, en tales realizaciones, la membrana 1202 tenderá a recuperar una forma original en ausencia de fuerzas físicas externas, junto con la aplicación de una forma de activación apropiada. Se pretende que todas estas variaciones estén comprendidas dentro del alcance de una membrana que recupera una forma original en ausencia de fuerzas externas, tal como se usa esa expresión en este documento.

Asimismo, se debe entender que la membrana comprimida no necesita tener un volumen reducido para estar "comprimida", tal como se usa el término en este documento. Por ejemplo, cuando una membrana generalmente elástica se rellena con una sustancia viscosa, la membrana se puede alargar con una aplicación de fuerza, de modo que tenga más longitud y menos grosor. En este estado comprimido, la membrana se puede insertar en un conducto estrecho (tal como un canal auditivo) y, entonces, la membrana se puede expandir para entrar en contacto con las paredes del conducto cuando recupera su forma original, más gruesa. De este modo, mientras una variedad de realizaciones analizadas en este documento implican el desplazamiento de un medio hacia el interior y fuera de una membrana, en otras realizaciones se puede comprimir una membrana plegable desplazando el medio dentro de la membrana sin producir ninguna variación global del volumen de la membrana. En estas realizaciones, la membrana puede estar fabricada convenientemente en una forma sellada, sin ningún puerto para líquidos o elementos similares que permitan manipular el medio en el interior de la membrana.

El espacio interior 1004 puede estar acoplado con un suministro 1016 de un medio 1018 (que pueden ser cualquiera de los suministros y medios descritos anteriormente) a través del primer puerto 1012 que, en este caso, puede ser un puerto para líquidos, que acopla el suministro 1016 con el espacio interior 1004, e incluye un dispositivo que retiene el flujo 1213 o similar, que controla la velocidad de paso del medio 1018 entre el suministro 1016 y el espacio interior 1004. Este puede incluir, por ejemplo, una membrana porosa, boquilla, conducto de paso más estrecho, válvula ajustable (para un control variable del caudal) o cualquier otra sustancia o estructura (o combinación de ellas) para ralentizar el paso del medio 1018 al espacio interior 1004 cuando la membrana 1202 se está expandiendo. En general, mediante la restricción del flujo de medio 1018, el dispositivo de retención 1213 limita la velocidad de expansión de la membrana 1202 en ausencia de fuerzas externas. De manera conveniente, esto permite que la membrana 1202 sea comprimida con una aplicación de fuerza y, seguidamente, liberada, momento en el cual la membrana 1202 se expandirá de forma suficientemente lenta para que pueda ser insertada en una cavidad antes de que se expanda por completo.

Se puede colocar un manguito 1015, que puede ser un conducto como cualquiera de los conductos rígidos que se han descrito anteriormente, dentro del espacio interior 1004 para definir un espacio de acceso 1017 para la inserción de una fuente de luz 1022, un sensor 1024 y similares para facilitar las mediciones de intensidad de luz. El manguito 1015 puede estar fabricado con un material transparente o incluir de otra forma al menos una región transparente para tales mediciones. El manguito 1015 puede extenderse desde un sello 1010 hasta el tapón 1030, que puede ser un tapón blando y plegable tal como cualquiera de los tapones descritos más arriba. En un aspecto, el manguito 1015 puede conectar físicamente con el tapón 1030 y el sello 1010, ya sea directamente o a través de estructuras adicionales para formar una estructura sólida o generalmente rígida que, junto con el suministro 1016 y el primer puerto 1012, se pueden usar como dispositivo insertable de obtención de imágenes. Cuando la forma y tamaño de la vejiga autoinflable 1200 están adaptados para ser usados, por ejemplo, en un canal auditivo humano, el tapón 1030 puede ser blando y/o plegable para proteger el canal auditivo durante la inserción del dispositivo.

El tapón 1030 puede incluir una ventana transparente. Durante la inserción de la vejiga autoinflable 1200 (o cualquier otro dispositivo descrito en este documento para la obtención de imágenes interiores) en, por ejemplo, un canal auditivo u otra abertura, se puede insertar un fibroscopio en el espacio de acceso 1017, de manera que disponga de visión óptica a través de la ventana y el sensor 1024 pueda capturar una imagen a lo largo del canal auditivo. Con esta visión, el usuario puede guiar la vejiga autoinflable 1200 (u otro dispositivo) en el canal, permitiendo también que el usuario interrumpa la inserción antes de chocar, por ejemplo, con un tímpano u otra obstrucción o zona sensible. La vejiga autoinflable 1220 (u otro dispositivo) puede incluir un dispositivo de iluminación complementario para iluminar el canal durante la inserción, o la fuente de luz 1022 puede estar adaptada a este propósito.

En un aspecto, se puede proporcionar un retén 1216 que retiene mecánicamente la membrana plegable en una forma comprimida. De este modo, durante el uso, la membrana 1202 puede estar comprimida hasta un tamaño menor que el diámetro interior del retén 1216 que puede ser, por ejemplo, un manguito cilíndrico o similar, y el retén 1216 se puede ajustar sobre la forma comprimida para mantener la membrana 1202. Cuando se debe capturar una imagen tridimensional, se puede retirar el retén 1216 y se puede insertar la vejiga autoinflable 1200 en una cavidad diana, permitiendo que se expanda lentamente hasta adoptar la forma de la cavidad diana, en donde la velocidad de expansión está determinada, por ejemplo, por la viscosidad del medio 1018, el elemento que restringe el flujo 1213 situado en la vía de flujo, y la fuerza mecánica aplicada por la membrana 1202 a medida que se expande hasta su forma completamente expandida. Se entenderá que el retén 1216 puede estar formado convenientemente por un material rígido (o una combinación de materiales) o cualquier otro material adecuado para retener la membrana 1202 en un estado comprimido. El retén 1216 puede ser una estructura única, con una forma y tamaño adecuados para deslizarse sobre el tapón 1030 y fuera de la membrana 1202, o el retén 1216 puede estar formado por un ensamblado de múltiples piezas que, por ejemplo, se pueden encajar entre sí y separar alrededor de la membrana

1202, o que encierra mediante bisagras la membrana 1202 o retiene de alguna otra manera la membrana 1202 en una forma comprimida. La forma y/o tamaño de la forma comprimida pueden estar adaptados para la inserción en un oído humano o en cualquier otra cavidad de la que se deseen imágenes tridimensionales.

5 Debe entenderse que aunque la Fig. 12 muestre una forma cilíndrica sencilla para la membrana 1202 en su estado comprimido, se puede utilizar de manera similar cualquier forma para una aplicación particular de obtención de imágenes, y puede adaptarse ya sea a la forma y tamaño del sitio de inserción, o a la forma y tamaño de la cavidad que se debe someter a la obtención de imágenes, o alguna combinación de éstos. Por ejemplo, las porciones interior y exterior de un canal auditivo humano tienen diámetros interiores sustancialmente diferentes. De este modo, en un aspecto, la vejiga autoinflable 1200, y la membrana 1202 y el retén 1216 para la misma, pueden tener una forma  
10 cónica o una forma de dos etapas, con un diámetro relativamente grande en una sección exterior para obtener imágenes del canal auditivo externo, y un diámetro relativamente menor en una sección interna para la obtención de imágenes en una zona más profunda del canal del oído interno. Es posible efectuar cualquier cantidad de adaptaciones similares para diferentes aplicaciones de obtención de imágenes, todas las cuales serán fácilmente apreciadas por el experto en la técnica.

15 Fig. 13 es un diagrama de flujo de un método, que no forma parte de la presente invención, para usar una vejiga autoinflable, tal como la vejiga autoinflable 1200 descrita anteriormente, para capturar imágenes tridimensionales de un espacio interior y, de manera más particular, para capturar imágenes tridimensionales de un canal auditivo humano.

20 Como se muestra en la etapa 1302, el método 1300 puede comenzar proporcionando una membrana plegable que recupera su forma original en ausencia de fuerzas externas, en donde la membrana plegable tiene un espacio interior. Puede tratarse, por ejemplo, de cualquiera de las membranas que se han descrito más arriba. Como se ha señalado anteriormente, una membrana que recupera su forma original en ausencia de fuerzas externas puede incluir cualquier estructura o combinación de estructuras que tienden a recuperar su forma, ya sea cuando se eliminan las fuerzas físicas que la constriñen (por ejemplo, un retén como se ha descrito anteriormente), o cuando se  
25 aplica alguna forma de activación (luz, calor, electricidad, etc.), o alguna combinación de las mismas.

Como se muestra en la etapa 1304, el método 1300 puede incluir comprimir la membrana plegable hasta una forma y tamaño adecuados para ajustarla a un canal auditivo humano. Esto puede incluir, por ejemplo, comprimir la membrana en una forma generalmente cilíndrica suficientemente estrecha para encajarla en el canal auditivo. En un aspecto, se puede proporcionar un margen de tiempo de manera que cuando se retire un retén y la membrana comienza a expandirse (tal como se ha descrito más arriba), la membrana no se expanda más allá del tamaño  
30 esperado del canal auditivo durante un periodo de tiempo, con el fin de permitir la manipulación y la inserción en el canal auditivo. Este periodo puede ser, por ejemplo, de diez segundos o tener cualquier otra duración acorde con las preferencias del usuario o las restricciones de manipulación y similares.

35 Como se muestra en la etapa 1306, el método 1300 puede incluir mantener la membrana plegable en esa forma y tamaño con un retén tal como cualquiera de los retenes descritos anteriormente. En un ejemplo, la membrana plegable puede ser una membrana desechable con un retén desechable. En otro aspecto, la membrana plegable puede ser una membrana reutilizable y el retén puede ser retirado y reemplazado para permitir múltiples despliegues de la membrana plegable.

40 Como se muestra en la etapa 1308, el método 1300 puede incluir acoplar el espacio interior a un suministro de un medio en forma líquida, que absorbe una primera longitud de onda de luz en mayor medida que una segunda longitud de onda de luz, en donde el espacio interior está acoplado al medio a través de un puerto que limita un flujo del medio hacia el espacio interior tales como el puerto de líquidos y el elemento que restringe el flujo, descritos más arriba. Se entenderá que en diversas realizaciones este acoplamiento puede producirse antes o después de que la membrana plegable se haya comprimido y antes o después de haber ajustado el retén a la membrana comprimida.

45 Como se muestra en la etapa 1310, el método 1300 puede incluir retirar el retén de la membrana plegable e insertar la membrana plegable en un canal auditivo humano. En este punto, la membrana puede empezar a expandirse e impulsar el medio hacia el espacio interior. Como se ha señalado anteriormente, la velocidad a la que se produce la expansión puede depender de cualquiera de una serie de factores tales como la viscosidad del medio, la cantidad de restricción de flujo, la presión creada por la membrana en expansión y la presurización (si la hay) del suministro. Por  
50 lo general, estos factores se pueden controlar durante el diseño de la membrana plegable, y el diseño puede permitir también el ajuste manual en el momento del despliegue tal como proporcionar una válvula ajustable para la restricción de flujo.

Como se muestra en la etapa 1312, el método 1300 puede incluir la medición y reconstrucción tridimensional utilizando cualquiera de las técnicas descritas con anterioridad.

55 Podrá apreciarse que el método 1300 descrito anteriormente se presenta a modo de ejemplo y no de limitación. Para el experto en la técnica resultarán evidentes numerosas variaciones, adiciones, omisiones y otras modificaciones. Además, el orden o presentación de estas etapas en la descripción y dibujos no pretende imponer el uso de este orden en la realización de las citadas etapas, excepto que se requiera expresamente un orden particular o éste

resulte evidente del contexto. De este modo, por ejemplo, un medio puede estar acoplado a la membrana antes o después de la compresión de la membrana. Cuando el medio está acoplado antes de la compresión de la membrana, se puede usar el suministro para comprimir la membrana usando presión inversa (por ejemplo, succión) para extraer material del espacio interior. De manera similar, aunque se menciona específicamente un canal auditivo, el método se puede adaptar a una serie de cavidades biológicas o de otro tipo.

Fig. 14 ilustra una adaptación de las técnicas descritas en este documento para capturar una imagen tridimensional de un objeto, tal como la dentadura humana. En una realización, un dispositivo 1400 para usar en la obtención de imágenes de la dentadura puede incluir una bandeja de obtención de imágenes 1402 con una superficie interior 1404, formada por una base 1406 y una o más paredes laterales 1408 y una serie de puntos de referencia 1410, junto con un medio 1412 tal como cualquiera de los medios descritos anteriormente. Aunque no se muestra, se entenderá que el dispositivo 1400 se puede usar con cualquier combinación apropiada de sensores, fuentes de luz, procesadores, etc. que se han descrito más arriba. Se entenderá, además, que aun cuando el dispositivo 1400 se puede usar con cualquiera de las técnicas de obtención de imágenes de la invención descritas en este documento, el dispositivo 1400 se puede adaptar también o alternativamente para usar en técnicas conocidas de medición de grosor de películas tales como ERLIF u otra tecnología similar.

La bandeja de obtención de imágenes 1402 puede ser cualquier recipiente adecuado para recibir una impresión de un objeto. Para las aplicaciones dentales, la bandeja de obtención de imágenes 1402 puede tener la forma y tamaño apropiados para usar como bandeja de registro de mordida. En la técnica dental se conoce una variedad de tales recipientes, incluidas numerosas bandejas de registro de mordida, bandejas de impresión, bandejas para tratamientos con flúor y similares, desechables y/o reutilizables, cualquiera de las cuales se puede adaptar para utilizar con las técnicas descritas en este documento. Adicionalmente, aunque se muestra una bandeja dental de arco completo, se entenderá que, de manera alternativa, la bandeja puede abarcar cualquier sub-porción de un arco tal como un cuadrante o una fila de dientes. En otras realizaciones, la bandeja de registro de mordida puede capturar simultáneamente un arco superior e inferior lo cual puede capturar de manera conveniente información sobre el registro de mordida relativa a la alineación de los arcos superior e inferior. Se verá que aunque se muestra una bandeja de registro dental, la bandeja para obtención de imágenes 1402 puede tener, de manera más general, cualquier forma y tamaño adecuados para el objeto cuya imagen se debe obtener. Además, la bandeja de obtención de imágenes 1402 puede estar adaptada a cualquiera de las diversas técnicas de obtención de imágenes descritas anteriormente. Esto puede incluir, por ejemplo, fabricar la bandeja de obtención de imágenes 1402 con un material transparente, de manera que se puedan realizar mediciones de grosor a través de la bandeja de obtención de imágenes 1402, o fabricar la bandeja de obtención de imágenes 1402 con un material fluorescente u otro material luminiscente de modo que la bandeja de obtención de imágenes 1402 pueda servir como fuente de luz tal como se ha descrito anteriormente. Esto puede incluir fabricar la bandeja de obtención de imágenes 1402 con un material con un color conocido o una distribución conocida de color que se pueda usar en mediciones de atenuación tal como se ha descrito más arriba. Esto puede incluir también, o de forma alternativa, la aplicación de una capa a la superficie interior 1404 tal como una capa fluorescente, luminiscente o de color conocido.

La superficie interior 1404 puede tener dimensiones conocidas que se pueden utilizar en combinación con mediciones de grosor para reconstruir geoméricamente una imagen tridimensional de un objeto impreso en el medio 1412. En una realización, las dimensiones conocidas pueden adaptarse a una impresión dental en el medio 1412. De modo más general, la información geométrica o espacial sobre la superficie interior 1404 ofrece información de límites para el medio 1412 en el interior de la bandeja de obtención de imágenes 1402, de manera que las mediciones de grosor del medio 1412 se pueden convertir en mediciones espaciales de una impresión en un sistema de coordenadas común, permitiendo de esta forma una reconstrucción tridimensional. Se verá, por lo tanto, que aun cuando la bandeja de obtención de imágenes 1402 se muestra como poseedora de una superficie interior 1404 formada por dos paredes laterales 1408 y una base 1406, la superficie interior 1404 puede incluir, de manera más general, cualquier otra superficie rectilínea, curvilínea o de otro tipo, adecuada para la obtención de la imagen de un objeto particular, con la condición de que la forma de la superficie interior 1404 sea conocida en las zonas donde se requieren posiciones de límites para una reconstrucción tridimensional.

La base 1406 y las paredes laterales 1408 retienen el medio 1412 en el interior de la bandeja de obtención de imágenes 1402 y proporcionan límites físicos conocidos para una o más superficies del medio 1412, de forma que las mediciones de grosor se pueden convertir en una imagen tridimensional. Se podrá apreciar que las paredes laterales 1408 pueden ser abiertas, tal como se muestra, siempre que el medio 1412 sea suficientemente viscoso y se mantenga total o parcialmente dentro de la bandeja de obtención de imágenes 1402 durante la manipulación y/o impresión. En el caso en que, por ejemplo, el medio 1412 es un líquido no viscoso, las paredes laterales 1408 pueden estar unidas convenientemente entre sí para formar una pared lateral perimetral completa que retiene el líquido dentro de la bandeja de obtención de imágenes 1402. En otro aspecto, una o más de la base 1406 y las paredes laterales 1408 pueden ser transparentes, dependiendo por ejemplo de la dirección desde la que se espera tomar las mediciones de grosor.

De manera opcional, se puede incluir cualquier número de puntos de referencia 1410 en o en el interior de la bandeja de obtención de imágenes 1402. Los puntos de referencia pueden estar en ubicaciones conocidas y/o tener una forma conocida. Cada punto de referencia 1410 puede tener una o más características únicas de identificación de modo que puede ser identificado en una imagen o en otros datos obtenidos de las mediciones de la bandeja de

obtención de imágenes 1402. Los puntos de referencia pueden actuar en general como elementos útiles de identificación en una reconstrucción tridimensional al facilitar el registro global de una serie de mediciones y/o imágenes tridimensionales independientes. Los puntos de referencia 1410 pueden ofrecer, por ejemplo, elementos visuales de identificación en un sistema de obtención de imágenes, que se pueden correlacionar con ubicaciones tridimensionales en la bandeja de obtención de imágenes 1402 o codifican la información espacial de otra forma. De manera más general, los expertos en la técnica reconocerán fácilmente los tipos y usos de los puntos de referencia en el registro tridimensional, y se pretende que todos los puntos de referencia que puedan ser adaptados para usar en las técnicas de obtención de imágenes descritas en este documento estén comprendidos en el alcance de esta descripción. De modo similar, se pueden emplear patrones aleatorios o regulares u otros tratamientos de superficie para ayudar en el registro, y pueden ser adaptados para usarlos con la bandeja de obtención de imágenes 1402 y otros dispositivos y técnicas de medición descritos en este documento.

El medio 1412 se puede disponer dentro de la superficie interior 1404 y puede incluir, en general, cualquiera de los medios descritos anteriormente. En una realización, el medio 1040 puede ser capaz de ceder para formar una impresión de un objeto insertado en la bandeja de obtención de imágenes y puede absorber, por ejemplo, una primera longitud de onda de luz en mayor medida que una segunda longitud de onda de luz. El medio 1412 puede incluir una única tinción fluorescente o una pluralidad de tinciones fluorescentes. El medio 1412 puede utilizar cualquier número de vehículos.

Por ejemplo, el medio 1412 puede incluir un gel, líquido u otra sustancia capaz de retener con exactitud, o que puede ser curada para retener con exactitud una impresión en su interior. Se puede utilizar como vehículo cualquier tipo de material curable (con propiedades ópticas adecuadas), incluidos materiales que curan con calor, con presión, con el tiempo, con luz, de forma química, o similares, así como cualquier combinación de ellos. El medio 1412 puede curar mientras un objeto está siendo imprimido en su interior, tal como mientras el paciente muerde una bandeja de registro de mordida, o el medio 1412 puede curar después de haber retirado el objeto. En este último caso, el medio 1412 tiene preferiblemente la viscosidad suficiente para retener una impresión útil del objeto hasta que el medio 1412 pueda ser curado. En otras realizaciones, el medio 1412 puede no ser curable, pero puede ser suficientemente viscoso o plástico para retener una impresión precisa después de haber retirado un objeto, ya sea de forma permanente, semi-permanente o al menos durante el tiempo suficiente para obtener mediciones de intensidad de la luz para los cálculos de grosor. En otras realizaciones, el medio 1412 y la bandeja de obtención de imágenes 1402 pueden ser sometidos a la obtención de imágenes mientras el objeto está incorporado en el medio. Cuando el objeto encaja por completo en la bandeja de obtención de imágenes 1402, la bandeja de obtención de imágenes 1402 puede ser una simple bandeja de sobremesa rellena de líquido o similar. Cuando el objeto está físicamente acoplado a un objeto de mayor tamaño (como la dentadura humana), la bandeja de obtención de imágenes 1402 puede ser transparente, de modo que se pueden obtener mediciones para los cálculos de grosor a través de la base 1406 o la o las paredes laterales 1408.

Fig. 15 es un diagrama de flujo de un método que no forma parte de la presente invención, para capturar una imagen tridimensional de un objeto tal como una dentadura humana, usando las técnicas que se describen en este documento. El método 1500 se puede usar, por ejemplo, con la bandeja de obtención de imágenes 1402 y el medio 1412 descritos anteriormente.

Como se muestra en la etapa 1502, el método 1500 puede comenzar disponiendo un medio en el interior de la bandeja de obtención de imágenes que tiene una superficie interior de dimensiones conocidas, en donde el medio es capaz de ceder para formar una impresión de un objeto insertado en la bandeja de obtención de imágenes, y el medio absorbe una primera longitud de onda de luz en mayor medida que una segunda longitud de onda de luz. En general, esto puede incluir cualquiera de las bandejas de obtención de imágenes y de los medios descritos más arriba. Con el fin de disponer el medio dentro de la bandeja de obtención de imágenes, el medio se puede verter, inyectar, diseminar o distribuir de cualquier otra manera en el espacio interior usando instrumentos y/o técnicas adecuadas a la viscosidad y otras propiedades físicas del medio. En una realización pre-acondicionada, el medio se puede disponer dentro de la bandeja de obtención de imágenes durante la fabricación y ser acondicionado para el envío en una forma lista para su uso. En otra realización, el medio se puede disponer de modo manual dentro de la bandeja de obtención de imágenes antes del uso, por ejemplo desde un tubo u otro recipiente del medio. En cualquier caso, la bandeja de obtención de imágenes puede ser reutilizable o desechable.

Como se muestra en la etapa 1504, el método 1500 puede incluir insertar un objeto en la bandeja de obtención de imágenes. Esto puede incluir colocar un objeto en la bandeja de obtención de imágenes (por ejemplo, cuando el medio es líquido), o aplicar una fuerza para insertar el objeto en el medio dentro de la bandeja de obtención de imágenes. Por ejemplo, cuando la bandeja de obtención de imágenes es una bandeja de registro de mordida, esto puede incluir insertar la dentadura humana en la bandeja de registro de mordida, por ejemplo haciendo que el usuario aplique fuerza mordiendo el medio con los dientes y otras piezas dentales que sean objeto de la impresión. Independientemente de la forma de inserción, el objeto puede desplazar, en general, el medio y formar una impresión del objeto dentro del medio.

Como se muestra en la etapa 1506, el método 1500 puede incluir iluminar la superficie interior de la bandeja de obtención de imágenes. Puede incluir cualquiera de las técnicas de iluminación descritas anteriormente.

Como se muestra en la etapa 1508, el método 1500 puede incluir capturar una imagen de la superficie interior a la primera longitud de onda y a la segunda longitud de onda. Esto puede incluir, en general, cualquiera de las técnicas de obtención de imágenes descritas más arriba. Se entenderá que, en este contexto, capturar una imagen pretende hacer referencia a la dirección de la superficie más que a la propia superficie. De esta forma, por ejemplo, cuando se utiliza una bandeja de obtención de imágenes transparente, la imagen capturada puede ser una intensidad de luz de un medio detrás de la superficie interior más que la propia superficie interior. De este modo, en muchas realizaciones la imagen puede estar relacionada más con la dirección en que se mide la intensidad de luz que con la ubicación real desde la que se refleja la luz.

De la misma forma, o alternativamente, la captura de una imagen de la superficie interior puede incluir capturar una imagen de referencia de una pluralidad de puntos de referencia proporcionados dentro de la bandeja de obtención de imágenes. Estos puntos de referencia se pueden usar para determinar una posición y orientación tridimensionales de una bandeja de obtención de imágenes, empleando cualquiera de una variedad de técnicas conocidas. Esto puede incluir el procesamiento de la misma imagen para calcular grosores (por ejemplo, una imagen de la superficie interior a la primera longitud de onda y a la segunda longitud de onda), por ejemplo por medio de la localización e interpretación de los puntos de referencia en tales imágenes, o esto puede incluir la captura de una imagen suplementaria con la misma cámara o sensor(es) para procesar los puntos de referencia. En otro aspecto, se puede proporcionar una cámara adicional u otro dispositivo de obtención de imágenes con el fin de capturar una imagen de referencia de los puntos de referencia. En estas realizaciones, la cámara adicional debe tener una relación espacial conocida con la cámara o sensores usados para las mediciones de grosor.

Como se muestra en la etapa 1510, el método 1500 puede incluir procesar la imagen para determinar un grosor del medio en una dirección de la superficie interior. Esto puede incluir cualquiera de las técnicas de procesamiento descritas anteriormente, basadas en una relación de intensidades de dos longitudes de onda, o cualquier otra técnica o método similares. Esto puede incluir capturar una pluralidad de mediciones de grosor para una pluralidad de direcciones hacia la superficie interior tal como de una matriz bidireccional de mediciones de intensidad capturadas con una cámara o similar.

Como se muestra en la etapa 1512, el método 1500 puede incluir obtener una reconstrucción tridimensional del objeto a partir de la o las mediciones de grosor. Esto puede incluir, por ejemplo, aplicar una serie de mediciones de grosor, tomando en consideración las dimensiones conocidas de la superficie interior, para determinar una forma tridimensional del objeto, o los límites de una impresión del objeto en el medio. Se debe entender que por diversas razones puede haber desviaciones sutiles o sustanciales entre la forma real del objeto y la impresión real del objeto. Cualquiera de ellas, o estas dos superficies de imágenes (conceptualmente) especulares pretenden estar comprendidas dentro del alcance de la forma tridimensional del objeto, tal como se usa la expresión en este documento.

Se apreciará que el método 1500 descrito anteriormente se presenta a modo de ejemplo y no de limitación. Para el experto en la técnica resultarán evidentes numerosas variaciones, adiciones, omisiones y otras modificaciones. Además, el orden o presentación de estas etapas en la descripción y dibujos no pretenden exigir que se aplique este orden en la realización de las citadas etapas, excepto que se requiera expresamente un orden particular o éste resulte evidente del contexto. De esta forma, por ejemplo, el objeto se puede insertar en una bandeja de obtención de imágenes antes de disponer el medio en la misma. O se pueden usar varios tipos de puntos de referencia para relacionar las mediciones de grosor con posiciones dentro de la bandeja de obtención de imágenes. De modo similar, aunque se menciona específicamente la dentadura humana, el método se puede adaptar a una amplia variedad de elementos biológicos o de otro tipo, y se pretende que todas estas variaciones estén comprendidas dentro del alcance de la presente descripción.

Se apreciará que cualquiera de los sistemas, dispositivos, métodos, procesos y elementos similares anteriores puede llevarse a cabo con hardware, software o cualquier combinación de éstos, que sean apropiados para el control, adquisición de datos y el procesamiento de datos que se describen en este documento. Esto incluye la realización en uno o múltiples microprocesadores, microcontroladores, microcontroladores integrados, procesadores programables de señales digitales u otros dispositivos programables, junto con una memoria interna y/o externa. También o alternativamente, esto puede incluir una o múltiples aplicaciones de circuitos integrados específicos, matrices de puerta programables, componentes de matrices lógicas programables, o cualquier otro dispositivo o dispositivos que puedan estar configurados para procesar señales electrónicas. Se apreciará, adicionalmente, que una realización de los procesos o dispositivos descritos más arriba puede incluir códigos de ejecución informática creados usando un lenguaje de programación estructurado tal como C, un lenguaje de programación orientado al objeto tal como C++, o cualquier otro lenguaje de programación de nivel alto o bajo (incluidos lenguajes de ensamblaje, lenguajes de descripción de hardware, y lenguajes y tecnologías de programación de bases de datos) que pueden estar archivados, recopilados o interpretados para funcionar en uno de los dispositivos anteriores, así como combinaciones heterogéneas de procesadores, arquitecturas de procesadores o combinaciones de diferentes hardware y software. Al mismo tiempo, el procesamiento se puede distribuir a través de dispositivos tales como cámaras y/u ordenadores y/o servidores u otros recursos de procesamiento remoto de una serie de formas, o todas las funcionalidades pueden estar integradas en un único dispositivo independiente específico. Se pretende que todas estas permutaciones y combinaciones estén comprendidas dentro del alcance de la presente descripción.

5 En otros ejemplos, se describen en este documento productos de programas informáticos que comprenden códigos ejecutables en ordenador o códigos utilizables en ordenador que cuando se ejecutan en uno o más dispositivos informáticos llevan a cabo cualquiera y/o todas las etapas que se han descrito anteriormente. El código puede estar archivado en una memoria informática, que puede ser la memoria a partir de la cual el programa ejecuta (tal como una memoria de acceso aleatorio asociada con un procesador), o un dispositivo de almacenamiento tal como un disco duro, memoria flash o cualquier otro dispositivo o combinación de dispositivos ópticos, electromagnéticos, magnéticos, infrarrojos, etc. En otro aspecto, cualquiera de los procesos que se han descrito anteriormente se puede realizar en cualquier medio de transmisión o propagación adecuado que sea portador del código ejecutable por ordenador que se ha descrito más arriba y/o cualquier entrada o salida del mismo.

10

**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo que comprende:

una capa luminiscente (322) de un material adaptado para formar una capa de conformación cuando se coloca sobre una superficie diana de un objeto, la capa luminiscente configurada para emitir luz a una primera longitud de onda y a una segunda longitud de onda; un sensor (112) situado para capturar una intensidad de la primera longitud de onda y una intensidad de la segunda longitud de onda en una dirección de una ubicación sobre la superficie diana, a lo largo del camino (120) óptico de retorno hasta una ubicación particular del sensor;

un medio (106) absorbente, el medio situado entre el sensor y la capa luminiscente y absorbiendo el medio la primera longitud de onda más que la segunda longitud de onda; y

un procesador (116) programado para calcular un grosor del medio en la dirección de la ubicación en base a una función de la intensidad de la primera longitud de onda y la intensidad de la segunda longitud de onda;

y programado para calcular una imagen tridimensional de la superficie diana en base al grosor calculado.
2. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que la capa luminiscente es una capa fluorescente.
3. El dispositivo de la reivindicación 2, que comprende adicionalmente una fuente de luz adaptada para excitar la capa fluorescente para emitir luz a la primera longitud de onda y segunda longitud de onda.
4. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que el medio incluye un gel, un gas o un líquido.
5. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que la capa luminiscente vuelve a una forma original en ausencia de fuerzas externas.
6. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que la capa luminiscente incluye una capa fluorescente sensible a una longitud de onda de excitación para producir la primera y la segunda longitud de onda, en el que el medio incluye un colorante para absorber selectivamente la primera longitud de onda más que la segunda longitud de onda, y en el que la capa luminiscente está dispuesta sobre una superficie exterior del medio.

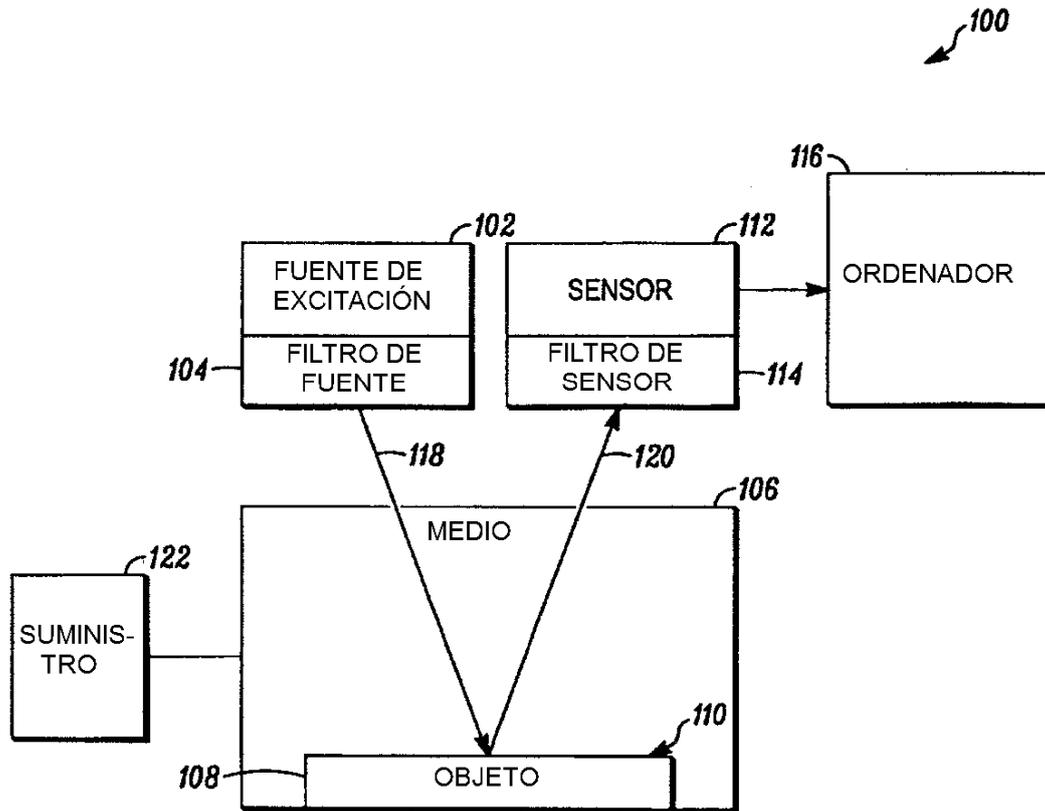


FIG. 1

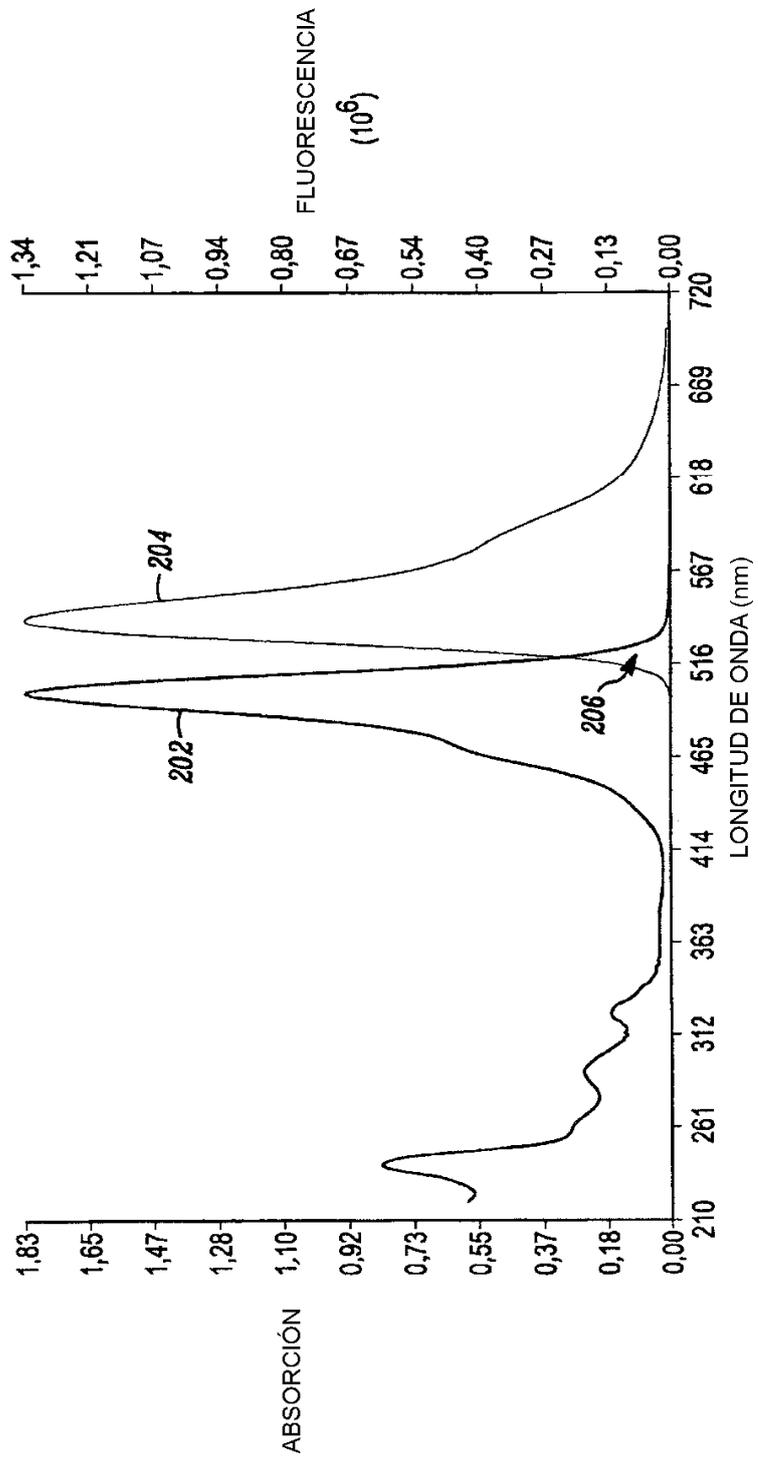


FIG. 2

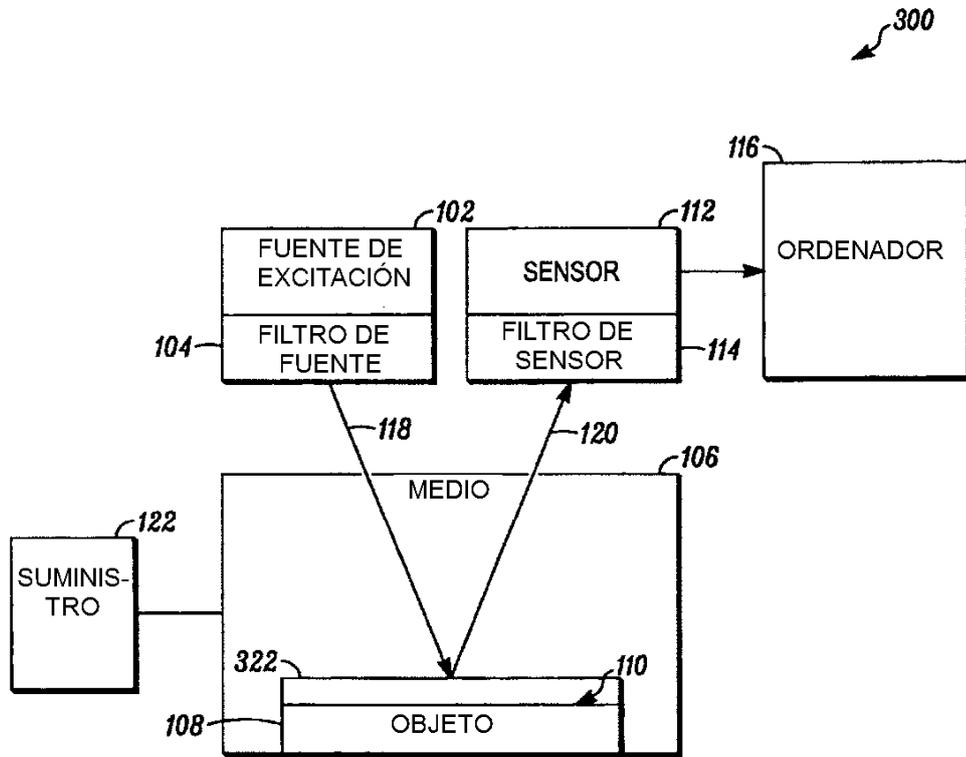


FIG. 3

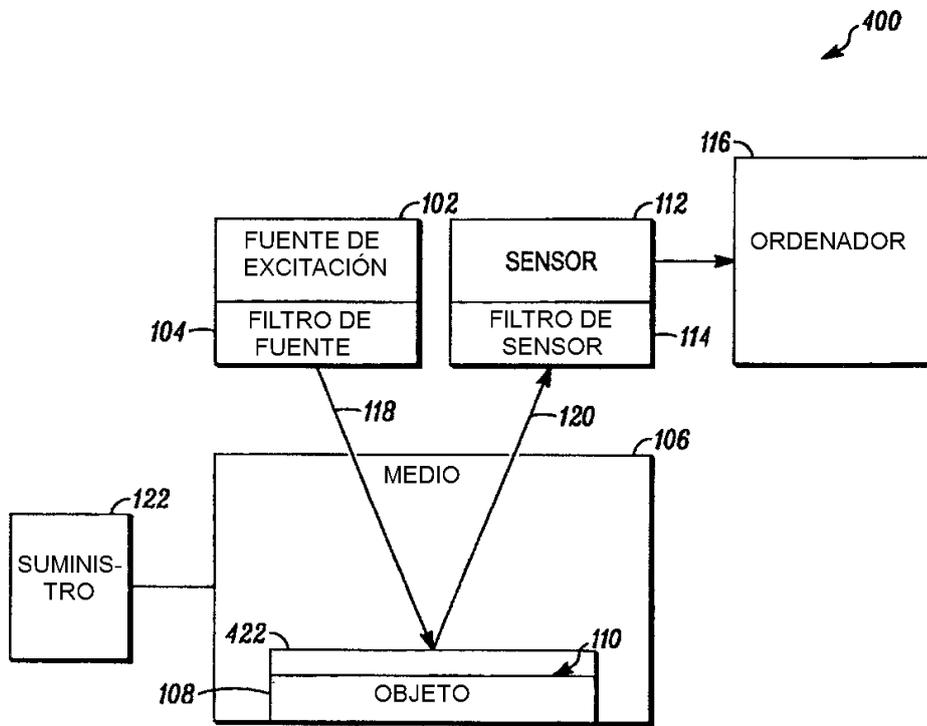
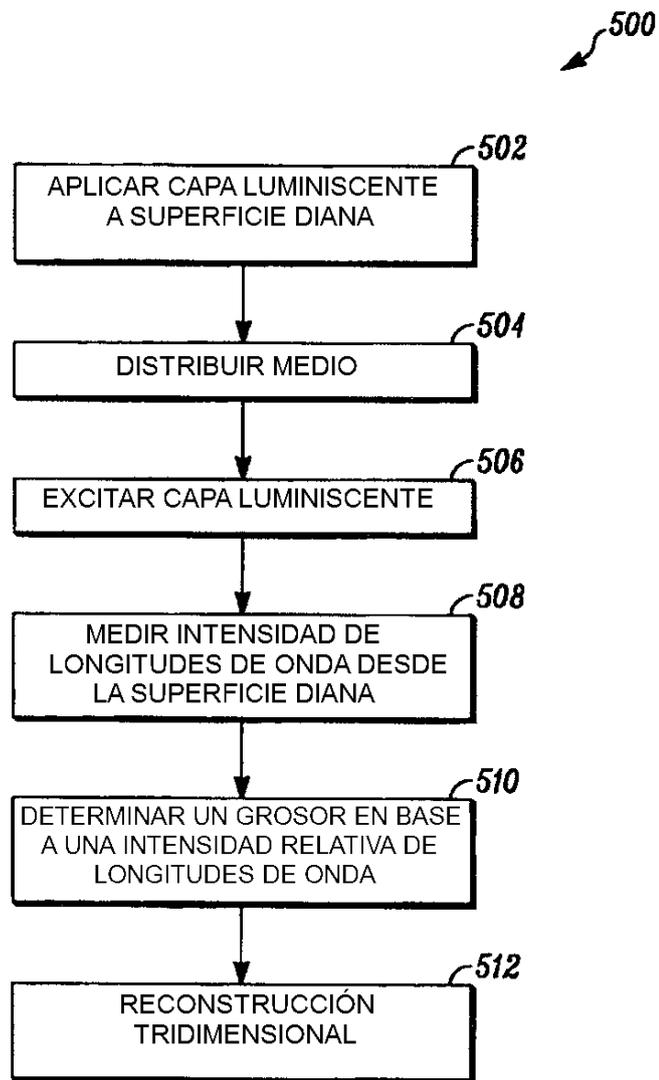
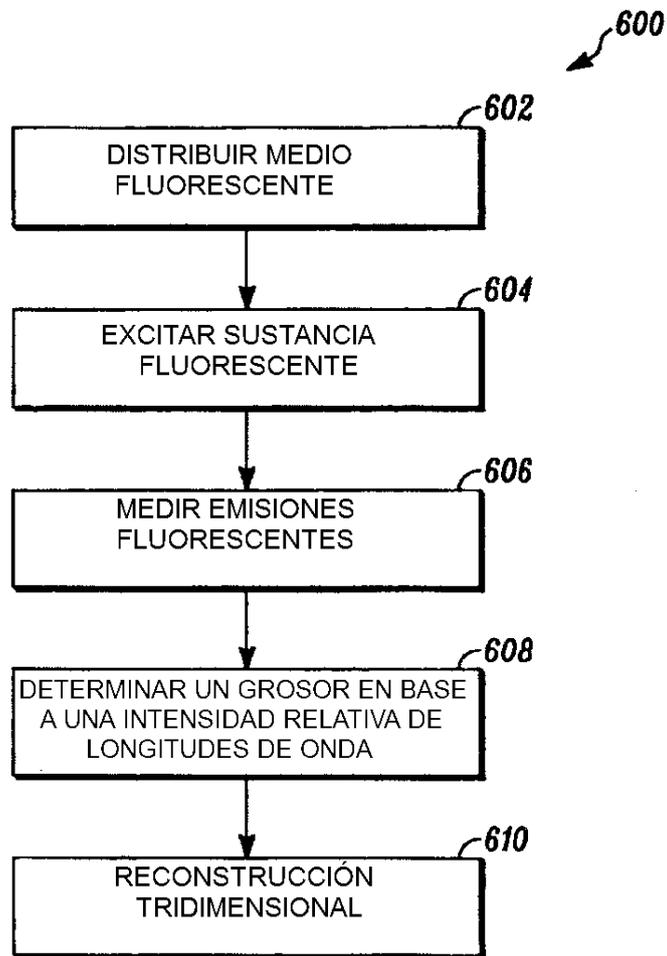


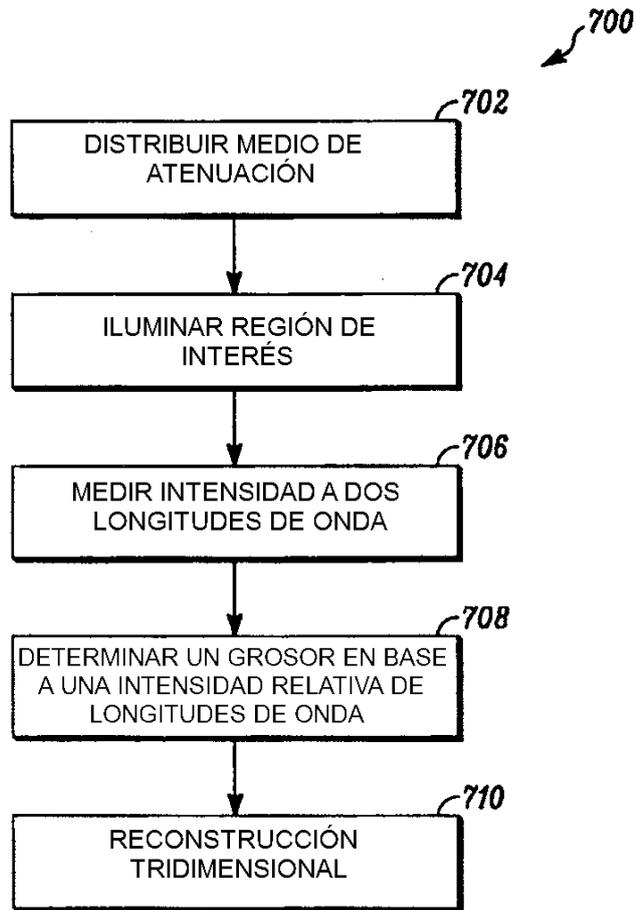
FIG. 4



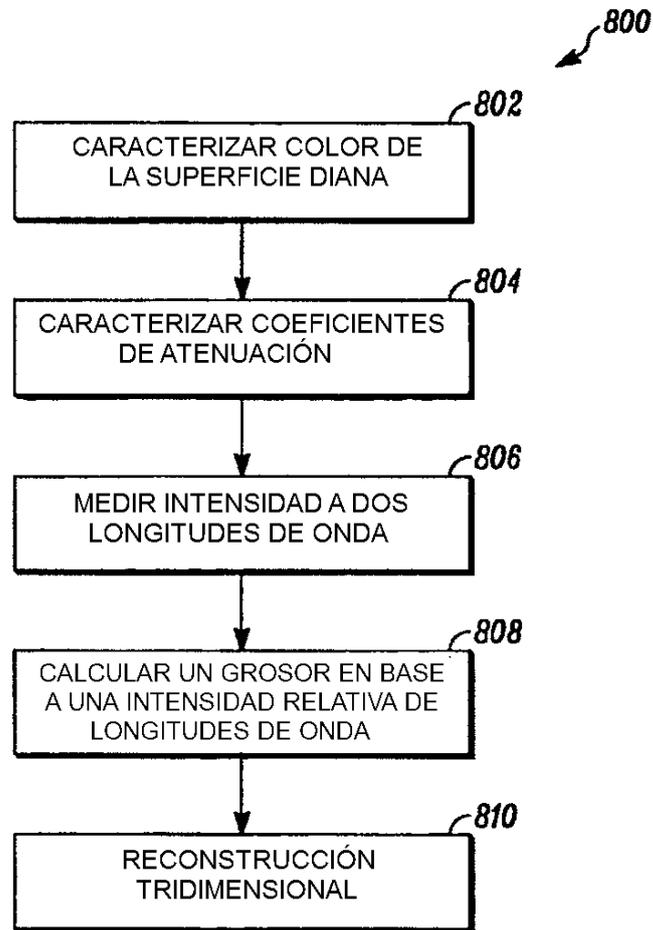
*FIG. 5*



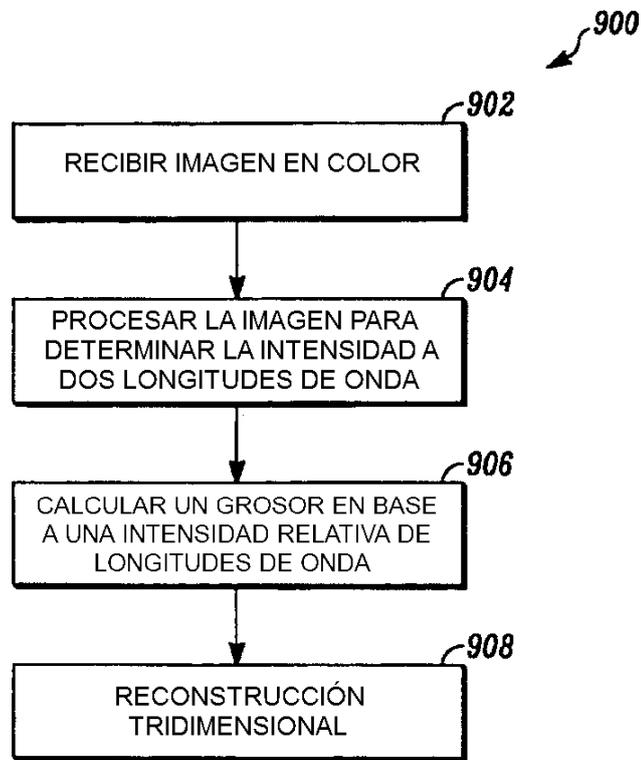
*FIG. 6*



*FIG. 7*



*FIG. 8*



*FIG. 9*

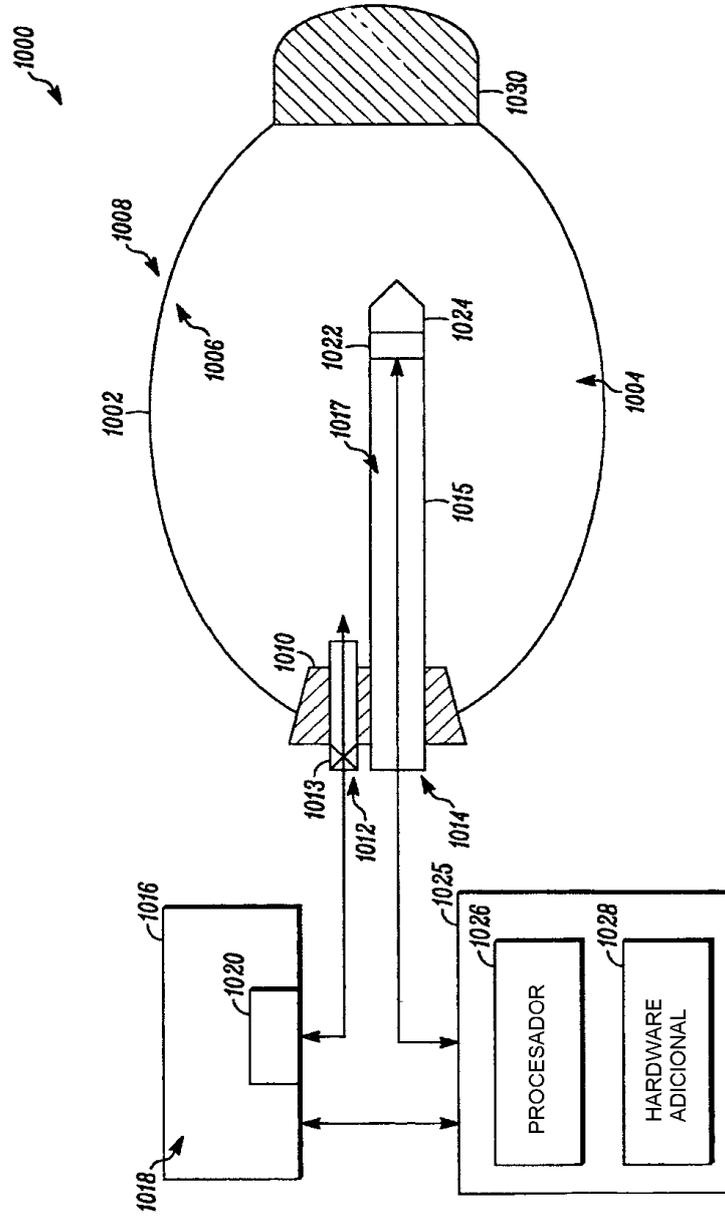
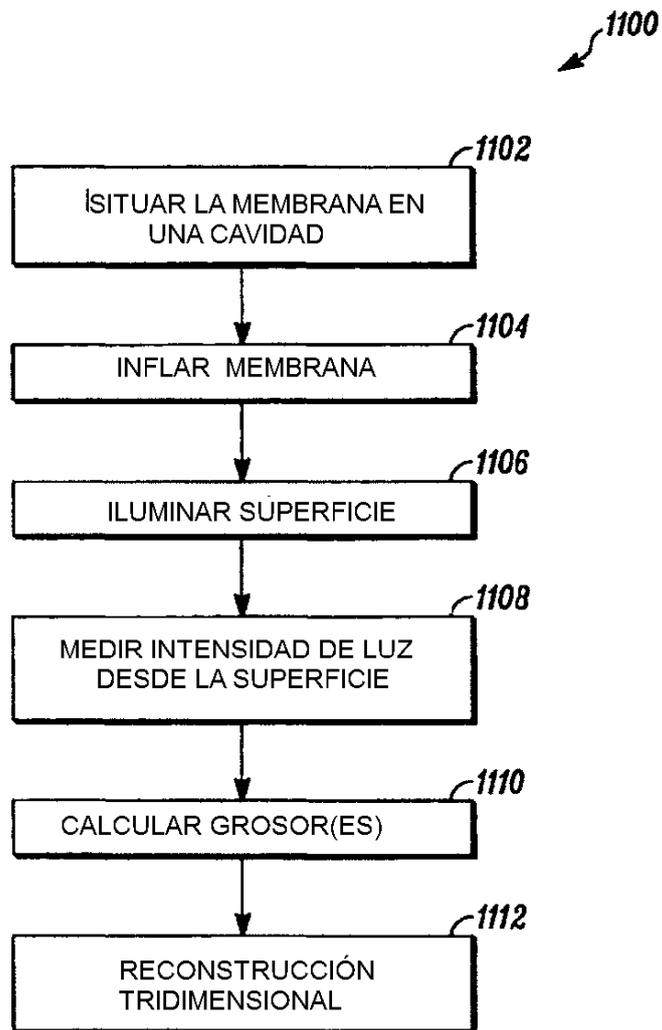


FIG. 10



*FIG. 11*

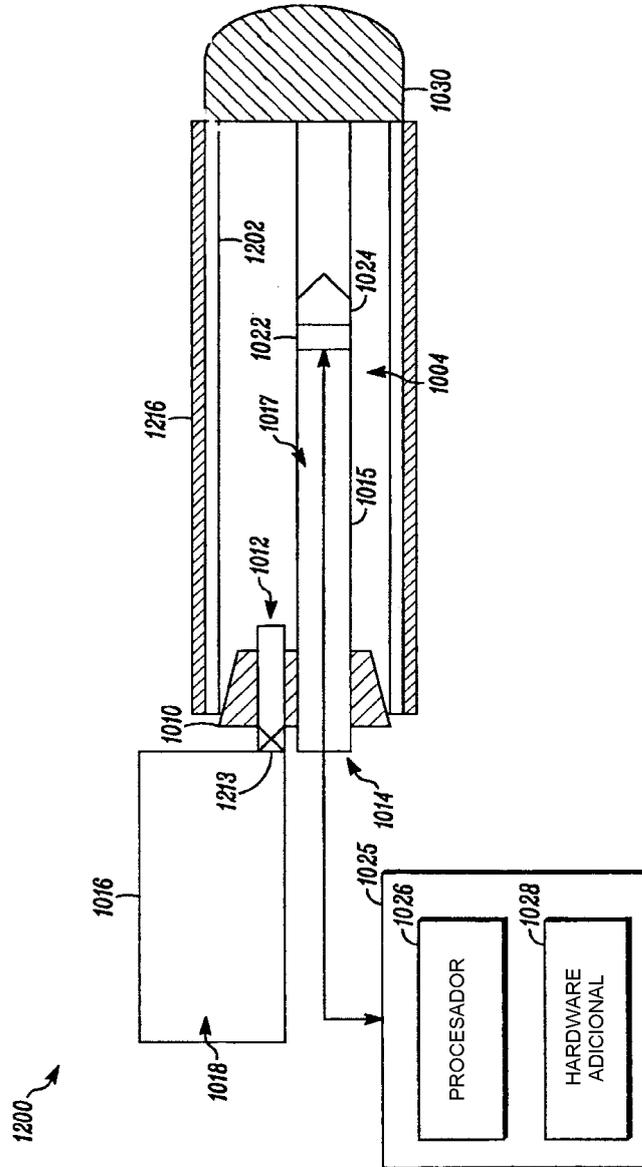
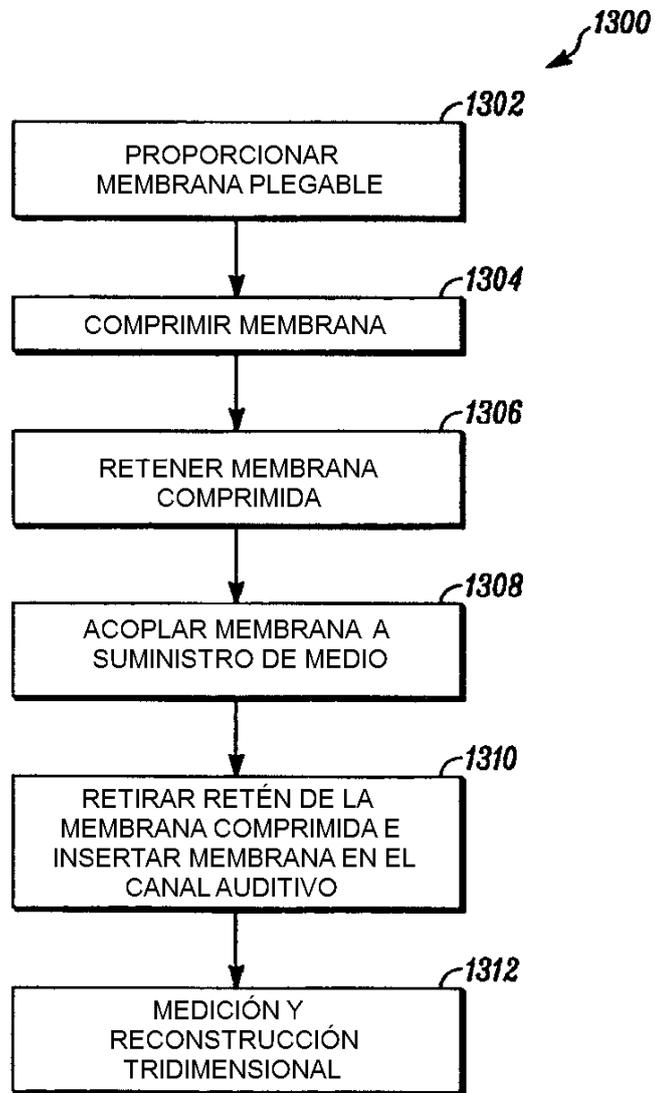


FIG. 12



*FIG. 13*

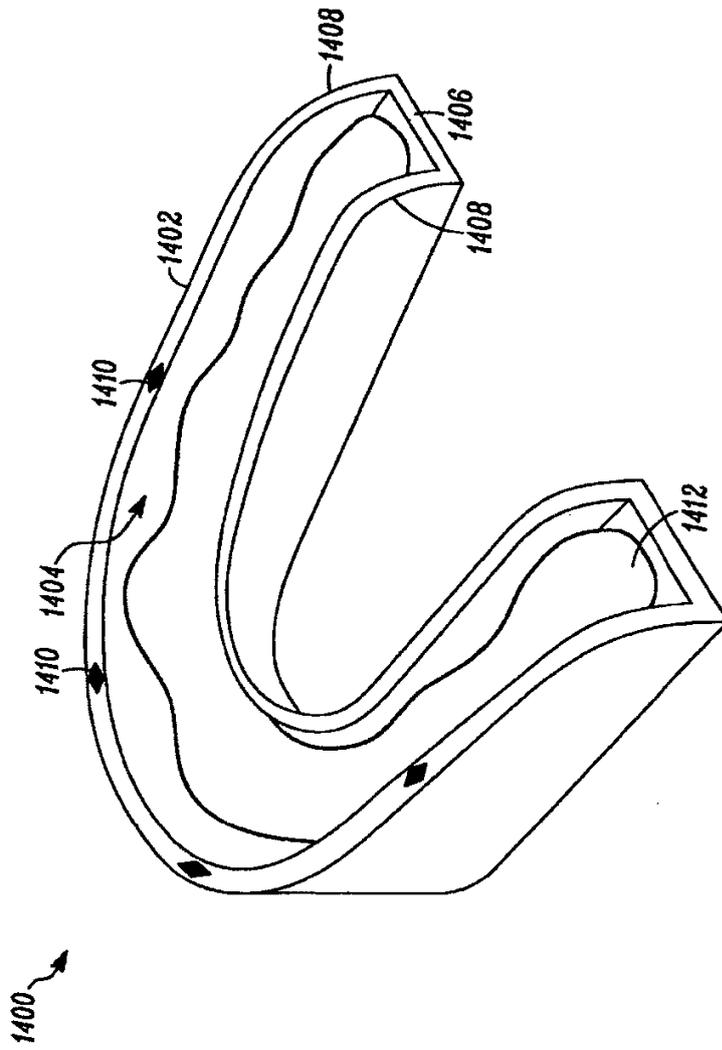
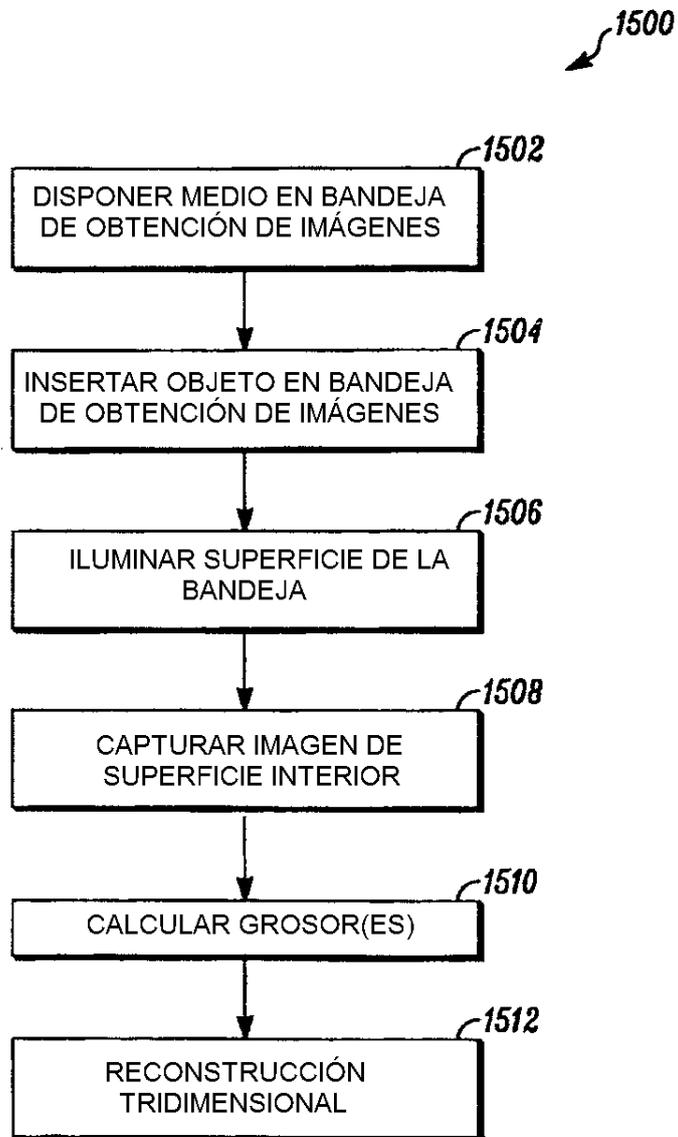


FIG. 14



*FIG. 15*