

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 729 574**

51 Int. Cl.:

G01T 1/20 (2006.01)

G01T 1/29 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.10.2012 PCT/US2012/062577**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.05.2013 WO13066870**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.10.2012 E 12798910 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2019 EP 2773981**

54 Título: **Panel de detector de rayos X dinámicamente escaneado**

30 Prioridad:

03.11.2011 US 201113288456

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

04.11.2019

73 Titular/es:

**MEDTRONIC NAVIGATION, INC. (100.0%)
Coal Creek Corporate Center One 826 Coal Creek
Circle
Louisville, CO 80027, US**

72 Inventor/es:

**BARBATO, LOUIS, J.;
HELM, PATRICK, A. y
SHAH, JIGNEY**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 729 574 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

Panel de detector de rayos X dinámicamente escaneado

5 **Campo**

La presente divulgación se refiere a la generación de una imagen de un sujeto usando un sistema de formación de imágenes que tiene un detector de panel plano y, más específicamente, un detector de rayos X dinámicamente escaneado.

10

Antecedentes

Esta sección proporciona una información de antecedentes relacionada con la presente divulgación que no es necesariamente la técnica anterior.

15

Un sujeto, tal como un paciente humano, puede decidir o necesitar someterse a un procedimiento quirúrgico para corregir o aumentar una anatomía del paciente. El aumento de la anatomía puede incluir diversos procedimientos, tales como un movimiento o aumento del hueso, la inserción de dispositivos de implante u otros procedimientos adecuados. Un cirujano puede realizar el procedimiento en el sujeto con imágenes del paciente que pueden obtenerse usando sistemas de formación de imágenes, tales como el sistema de formación de imágenes por resonancia magnética (IRM), el sistema de tomografía computarizada (TC), la fluoroscopia (por ejemplo, los sistemas de formación de imágenes C-Arm) u otros sistemas de formación de imágenes adecuados.

20

Las imágenes de un paciente pueden ayudar a un cirujano a realizar un procedimiento que incluye la planificación del procedimiento y la realización del procedimiento. Un cirujano puede seleccionar la representación de una imagen bidimensional o una imagen tridimensional del paciente. Las imágenes pueden ayudar al cirujano a realizar un procedimiento con una técnica menos invasiva, lo que permite al cirujano ver la anatomía del paciente sin retirar el tejido superpuesto (incluido el tejido dérmico y muscular) cuando realiza un procedimiento.

25

En el documento US2003168603, un detector de radiación emplea uno o más conjuntos de dispositivos de transmisión de luz microfotónicos para controlar selectivamente el flujo de luz desde diferentes sitios de detección en un centelleador en un conducto óptico. Por ejemplo, los dispositivos de transmisión de luz microfotónicos pueden ser espejos orientables microelectromecánicos o puertas de luz. En lugar de emplear un elemento de detector separado para convertir la luz de cada sitio en una señal eléctrica que, a continuación, se conmuta a un sistema de adquisición de datos, el conjunto de detector conmuta la luz en el conducto óptico al sistema de adquisición de datos.

30

35

Sumario

Esta sección proporciona un sumario general de la divulgación, y no es una divulgación exhaustiva de todo su alcance o de todas sus características.

40

La presente invención proporciona un sistema de formación de imágenes por rayos X para formar imágenes de un sujeto, incluyendo una fuente de rayos X configurada para proyectar una radiación de rayos X hacia una parte del sujeto y un detector de panel colocado frente a la fuente de rayos X con respecto al sujeto y configurado para recibir la radiación de rayos X que pasa a través del sujeto. El detector de panel incluye una capa de centelleo que convierte la radiación de rayos X en rayos de luz de un espectro seleccionado y una pluralidad de escáneres microelectromecánicos. Cada escáner microelectromecánico incluye un fotodetector montado en una plataforma móvil correspondiente y configurado para detectar la luz en el espectro de luz seleccionado. El detector de panel incluye un módulo de control de escaneo configurado para mover cada plataforma en un patrón de escaneo seleccionado.

45

50

La presente invención también proporciona un método de acuerdo con la reivindicación 18.

En algunas realizaciones, los escáneres microelectromecánicos pueden incluir diferentes fotodetectores con fotodiodos o espejos y electrobobinas. La plataforma puede hacerse pivotar usando accionadores flexibles.

55

En algunas realizaciones, los escáneres microelectromecánicos adyacentes pueden colocarse para tener campos de visión superpuestos.

En algunas realizaciones los patrones de escaneo pueden incluir escáneres de trama rectangulares con frecuencias individualmente seleccionables. En algunas realizaciones, los patrones de escaneo pueden incluir escaneos en espiral.

60

Otras áreas de aplicabilidad serán evidentes a partir de la descripción proporcionada en el presente documento. La descripción y los ejemplos específicos en este sumario están destinados solo para fines de ilustración y no pretenden limitar el alcance de la presente divulgación.

65

Dibujos

Los dibujos descritos en el presente documento tienen como fin ilustrar solo las realizaciones seleccionadas y no todas las implementaciones posibles, y no pretenden limitar el alcance de la presente divulgación.

- 5 La figura 1 es una vista ambiental de un sistema de formación de imágenes a modo de ejemplo que incluye un detector de panel plano de acuerdo con las presentes enseñanzas;
- la figura 2 es un sistema informático a modo de ejemplo en uso con el sistema de formación de imágenes de la figura 1;
- 10 la figura 3 es una ilustración esquemática de una fuente de rayos X del sistema de formación de imágenes de la figura 1 mostrada en alineación con el detector de panel plano;
- la figura 4A es una vista en sección lateral esquemática de un detector de panel plano de la técnica anterior;
- la figura 4B es una vista en planta esquemática del detector de panel plano de la técnica anterior de la figura 4A;
- 15 la figura 5A es una vista en sección lateral esquemática de un detector de panel plano de acuerdo con las presentes enseñanzas;
- la figura 5B es una vista en planta esquemática del detector de panel plano de la figura 5A que muestra unos patrones de trama a modo de ejemplo;
- la figura 6 es una vista en sección lateral esquemática de otra realización de un detector de panel plano de acuerdo con las presentes enseñanzas;
- 20 la figura 7 es una vista en sección lateral esquemática de otra realización de un detector de panel plano de acuerdo con las presentes enseñanzas;
- la figura 8 es una vista en sección lateral esquemática de otra realización de un detector de panel plano de acuerdo con las presentes enseñanzas;
- 25 la figura 9 es una vista en sección lateral esquemática de un dispositivo de microescáner a modo de ejemplo para un detector de panel plano de acuerdo con las presentes enseñanzas; y
- la figura 10 es una vista en perspectiva esquemática de otro dispositivo de microescáner a modo de ejemplo para un detector de panel plano de acuerdo con las presentes enseñanzas.

30 Los números de referencia correspondientes indican partes correspondientes en todas las diversas vistas de los dibujos.

Descripción detallada

35 La siguiente descripción es de naturaleza meramente ilustrativa. Debe entenderse que en todos los dibujos, los números de referencia correspondientes indican partes y características similares o correspondientes. Como se ha indicado anteriormente, las presentes enseñanzas se dirigen hacia un sistema de formación de imágenes, tal como un sistema de formación de imágenes O-Arm® disponible en el mercado en Medtronic Navigation, Inc., Louisville, CO, EE. UU. Cabe señalar, sin embargo, que las presentes enseñanzas podrían aplicarse a cualquier dispositivo de formación de imágenes adecuado, tal como un dispositivo de formación de imágenes C-arm. Además, tal como se

40 usa en el presente documento, el término "módulo" puede hacer referencia a un medio legible por ordenador al que puede accederse mediante un dispositivo informático, un circuito integrado de aplicación específica (ASIC), un circuito electrónico, un procesador (compartido, dedicado o grupal) y una memoria que ejecuta uno o más programas de software o firmware, un circuito lógico combinacional y/u otros programas o componentes de software o firmware adecuados que proporcionan la funcionalidad descrita.

45 Las presentes enseñanzas se dirigen a diversas realizaciones de un detector de panel plano dinámicamente escaneado para un sistema de formación de imágenes usado en la formación de imágenes médicas, tales como, por ejemplo, radiografía, fluoroscopia, tomografía computarizada (TC) y tomografía computarizada de haz cónico (CBCT). El detector de panel plano de las presentes enseñanzas incorpora una pluralidad de microescáneres individuales (incluidos los fotodetectores) que pueden escanear una parte del área de interés de acuerdo con un patrón de trama individualmente seleccionado. Cada parte escaneada contribuye a una parte de la imagen general, uniéndose, a continuación, entre sí las partes separadas. En comparación con algunos detectores de panel planos de la técnica anterior que incluyen conjuntos de fotodetectores en un patrón de cuadrícula regular y fijo, el detector de panel plano de las presentes enseñanzas proporciona flexibilidad y eficiencia adicionales para controlar la resolución, la velocidad de muestreo, el procesamiento de imágenes, la reducción de costes, la calibración, etc., controlando individualmente los patrones, tipos y localizaciones de escaneo de los fotodetectores incluidos en los microescáneres individuales. Los microescáneres incluidos en el detector de panel plano de las presentes enseñanzas pueden disponerse en filas y columnas (disposición bidimensional) y se basan en los principios de los sistemas microelectromecánicos (MEMS). El movimiento de escaneo puede ser de un patrón preseleccionado, lo

50 que da como resultado un patrón de trama espiral, radial, circular o rectangular de diferentes frecuencias de barrido. Los microescáneres pueden accionarse, por ejemplo, usando unos accionadores mecánicos x e y para hacer pivotar los fotodiodos correspondientes alrededor de dos ejes ortogonales o usando electrobobinas e imanes para hacer pivotar los espejos MEMS alrededor de dos ejes ortogonales.

65 Brevemente, las figuras 1-3 ilustran diversos componentes de un sistema de formación de imágenes CBCT a modo de ejemplo 10. Las figuras 4A y 4B ilustran un detector de panel plano 40 de la técnica anterior. Las figuras 5-8

ilustran diversas realizaciones de un detector de panel plano basado en MEMS 100, 100a, 100b, 100c de acuerdo con las presentes enseñanzas. La figura 9 ilustra un microescáner 200 con un fotodiodo y unos accionadores x, y para pivotar. La figura 10 ilustra un microescáner 300 con un espejo que usa la acción de campo magnético.

5 Con referencia a la figura 1, un usuario 12, tal como un profesional o asistente médico, puede realizar un procedimiento sobre un sujeto, tal como un paciente humano 14. En la realización del procedimiento, el usuario 12 puede usar un sistema de formación de imágenes 10 para adquirir datos de imagen del paciente 14 para realizar un procedimiento. Los datos de imagen adquiridos del paciente 14 pueden incluir proyecciones bidimensionales (2D) adquiridas con un sistema de formación de imágenes por rayos X, incluyendo las desveladas en el presente documento. Se entenderá, sin embargo, que también pueden generarse proyecciones directas en 2D de un modelo volumétrico, como también se desvela en el presente documento.

15 En un ejemplo, puede generarse un modelo usando los datos de imagen adquiridos. El modelo puede ser un modelo volumétrico tridimensional (3D) generado en función de los datos de imagen adquiridos usando diversas técnicas, incluyendo técnicas iterativas algebraicas, para generar datos de imagen visualizables en una pantalla, denominados datos de imagen visualizados 18. Los datos de imagen visualizados 18 pueden visualizarse en un dispositivo de visualización 20, y, además, pueden visualizarse en un dispositivo de visualización 32a asociado con un sistema informático de formación de imágenes 32. Los datos de imagen visualizados 18 pueden ser una imagen 2D, una imagen 3D o una imagen de cuatro dimensiones cambiante en el tiempo. Los datos de imagen visualizados 20 también pueden incluir los datos de imagen adquiridos, los datos de imagen generados, ambos, o una combinación de ambos tipos de datos de imagen.

25 Se entenderá que los datos de imagen adquiridos del paciente 14 pueden adquirirse como proyecciones 2D, por ejemplo, con un sistema de formación de imágenes por rayos X. A continuación, las proyecciones 2D pueden usarse para reconstruir los datos de imagen volumétricos 3D del paciente 14. Además, las proyecciones 2D teóricas o directas pueden generarse a partir de los datos de imagen volumétricos 3D. En consecuencia, se entenderá que los datos de imagen pueden ser o las proyecciones 2D o los modelos volumétricos 3D, o ambos.

30 El dispositivo de visualización 20 puede ser parte de un sistema informático 22. El sistema informático 22 puede incluir diversos medios legibles por ordenador. Los medios legibles por ordenador pueden ser cualquier medio disponible al que pueda accederse a través del sistema informático 22 y pueden incluir tanto medios volátiles como no volátiles, y medios extraíbles y no extraíbles. Los medios legibles por ordenador pueden incluir, por ejemplo, medios de almacenamiento informático y medios de comunicación. Los medios de almacenamiento incluyen, pero sin limitarse a, RAM, ROM, EEPROM, memoria flash u otra tecnología de memoria, CD-ROM, disco versátil digital (DVD) u otro almacenamiento en disco óptico, casetes magnéticos, cintas magnéticas, almacenamiento en disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, o cualquier otro medio que pueda usarse para almacenar instrucciones, software, estructuras de datos, módulos de programas y otros datos legibles por ordenador, y a los que pueda accederse a través del sistema informático 22. Puede accederse a los medios legibles por ordenador directamente o a través de una red, tal como internet.

40 En un ejemplo, el sistema informático 22 puede incluir un dispositivo de entrada 24, tal como un teclado, y uno o más procesadores 26 (el uno o más procesadores pueden incluir procesadores de núcleo de procesamiento múltiple, microprocesadores, etc.) que pueden incorporarse al sistema informático 22. El dispositivo de entrada 24 puede incluir cualquier dispositivo adecuado para permitir que un usuario se interconecte con el sistema informático 22, tal como un panel táctil, un lápiz táctil, una pantalla táctil, un teclado, un ratón, una palanca de mando, una bola de seguimiento, un ratón inalámbrico, un control audible o una combinación de los mismos. Además, aunque el sistema informático 22 se describe e ilustra en el presente documento comprendiendo el dispositivo de entrada 24 separado del dispositivo de visualización 20, el sistema informático 22 podría comprender un dispositivo informático de panel táctil o tableta, y, además, el sistema informático 22 podría integrarse dentro o formar parte del sistema informático de formación de imágenes 32 asociado con el sistema de formación de imágenes 10. Puede proporcionarse una conexión cableada o inalámbrica 28 entre el sistema informático 22 y el dispositivo de visualización 20 para la comunicación de datos para permitir el accionamiento del dispositivo de visualización 20 para ilustrar los datos de imagen 18.

55 El sistema de formación de imágenes 10, incluyendo el sistema de formación de imágenes O-Arm®, u otros sistemas de formación de imágenes adecuados en uso durante un procedimiento seleccionado también se describen en la solicitud de patente de Estados Unidos n.º 12/465.206, titulada "System And Method For Automatic Registration Between An Image And A Subject", presentada el 13 de mayo de 2009, publicación de Estados Unidos n.º 2010-0290690. Puede encontrarse una descripción adicional sobre el sistema de formación de imágenes O-Arm u otros sistemas de formación de imágenes adecuados en las patentes de Estados Unidos números 7.188.998, 7.108.421, 7.106.825, 7.001.045 y 6.940.941.

65 Haciendo referencia a las figuras 1-8, el sistema de formación de imágenes 10 puede incluir un carro móvil 30 que incluye el sistema informático de formación de imágenes 32 y un portal de formación de imágenes 34 con una fuente 36, un colimador 37, uno de los detectores de panel planos 100, 100a, 100b, 100c de las presentes enseñanzas y un rotor 35. Por simplicidad, se hace referencia al detector de panel plano 100 en relación con las figuras 1-3, aunque

también puede usarse cualquiera de las otras realizaciones 100a, 100b y 100c. Con referencia a la figura 1, el carro móvil 30 puede moverse de un quirófano o sala a otro y el portal 34 puede moverse en relación con el carro móvil 30, como se expone más adelante en el presente documento. Esto permite que el sistema de formación de imágenes 10 sea móvil, de manera que pueda usarse en múltiples localizaciones y con múltiples procedimientos sin requerir el gasto de capital o espacio dedicado a un sistema de formación de imágenes fijo.

Con referencia continuada a la figura 1, el portal 34 puede definir un isocentro del sistema de formación de imágenes 10. En este sentido, una línea central C1 a través del portal 34 puede definir un isocentro o centro del sistema de formación de imágenes 10. En general, el paciente 14 puede colocarse a lo largo de la línea central C1 del portal 34, de manera que un eje longitudinal del paciente 14 puede alinearse con el isocentro del sistema de formación de imágenes 10.

Con referencia a la figura 2, se proporciona un diagrama que ilustra una realización a modo de ejemplo del sistema informático de formación de imágenes 32, algunos de cuyos componentes, o todos los mismos, pueden usarse en relación con las enseñanzas de la presente divulgación. El sistema informático de formación de imágenes 32 puede incluir diversos medios legibles por ordenador. Los medios legibles por ordenador pueden ser cualquier medio disponible al que pueda accederse a través del sistema informático de formación de imágenes 32 e incluyen tanto medios volátiles como no volátiles, y medios extraíbles y no extraíbles. A modo de ejemplo, y no de limitación, los medios legibles por ordenador pueden comprender medios de almacenamiento informático y medios de comunicación. Los medios de almacenamiento incluyen, pero sin limitarse a, RAM, ROM, EEPROM, memoria flash u otra tecnología de memoria, CD-ROM, disco versátil digital (DVD) u otro almacenamiento en disco óptico, casetes magnéticos, cintas magnéticas, almacenamiento en disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, o cualquier otro medio que pueda usarse para almacenar instrucciones, software, estructuras de datos, módulos de programas y otros datos legibles por ordenador, y a los que pueda accederse a través del sistema informático de formación de imágenes 32. Puede accederse a los medios legibles por ordenador directamente o a través de una red, tal como internet.

En un ejemplo, el sistema informático de formación de imágenes 32 comprende un dispositivo de visualización 32a y una unidad de sistema 32b. Como se ilustra, el dispositivo de visualización 32a puede comprender una pantalla o monitor de video de ordenador. El sistema informático de formación de imágenes 32 también puede incluir al menos un dispositivo de entrada 32c. La unidad de sistema 32b incluye, como se muestra en una vista despiezada, un procesador 92 y una memoria 94, que pueden incluir un software con un módulo de control de imagen 96 y unos datos 98, tal como se muestra en la figura 2.

En este ejemplo, el al menos un dispositivo de entrada 32c comprende un teclado. Sin embargo, debe entenderse que el al menos un dispositivo de entrada 32c puede comprender cualquier dispositivo adecuado que permita al usuario interactuar con el sistema informático de formación de imágenes 32, tal como un panel táctil, un lápiz táctil, una pantalla táctil, un teclado, un ratón, una palanca de mando, una bola de seguimiento, un ratón inalámbrico, un control audible o una combinación de los mismos. Además, aunque el sistema informático de formación de imágenes 32 se describe e ilustra en el presente documento comprendiendo la unidad de sistema 32b con el dispositivo de visualización 32a, el sistema informático de formación de imágenes 32 podría comprender un dispositivo informático de panel táctil o tableta o un dispositivo de visualización en uso 20.

Brevemente, con referencia a las figuras 1 y 3, la fuente 36 puede emitir rayos X a través del paciente 14 que se detectan por el detector de panel plano 100. Los rayos X pueden emitirse por la fuente 36 en un haz cónico y pueden conformarse, además, por un colimador opcional 37 para su detección por el detector de panel plano 100. Un colimador a modo de ejemplo 37 está disponible en el mercado como el Compact Square Field Collimator vendido por Collimare Engineering de Wheat Ridge, CO, EE.UU., e incluido con el sistema de formación de imágenes O-Arm® vendido por Medtronic Navigation, Inc. de Louisville, CO, EE.UU. Brevemente, el colimador 37 puede incluir una o más hojas, que pueden controlarse para conformar los rayos X emitidos por la fuente 36. Tal como se explicará, el colimador 37 puede usarse para conformar los rayos X emitidos por la fuente 36 en un haz que se corresponda con la forma del detector de panel plano 100. La fuente 36, el colimador 37 y el detector de panel plano 100 pueden acoplarse, cada uno de los mismos, al rotor 35.

En general, el detector de panel plano 100 puede acoplarse al rotor 35 con el fin de oponerse diametralmente a la fuente 36 y el colimador 37 dentro del portal 34. El detector de panel plano 100 puede moverse rotatoriamente en un movimiento de 360° alrededor del paciente 14, en general en las direcciones de la flecha E, y la fuente 36 y el colimador 37 pueden moverse en coordinación con el detector de panel plano 100, de tal manera que la fuente 36 y el colimador 37 permanezcan, en general, a 180° separados y opuestos con respecto al detector de panel plano 100.

El portal 34 puede balancearse u oscilar isométricamente (en el presente documento también se denomina isobalanceo) en general en la dirección de la flecha A, con respecto al paciente 14, que puede colocarse sobre un soporte o mesa de paciente 15. El portal 34 también puede inclinarse con respecto al paciente 14, como se ilustra con las flechas B, moverse longitudinalmente a lo largo de la línea C con respecto al paciente 14 y el carro móvil 30, puede moverse hacia arriba y hacia abajo, en general a lo largo de la línea D con respecto al carro móvil 30 y transversalmente con respecto al paciente 14, y moverse perpendicularmente, en general en la dirección de la flecha

F, con respecto al paciente 14 para permitir la colocación de la fuente 36, el colimador 37 y el detector de panel plano 100 en relación con el paciente 14.

El sistema de formación de imágenes 10 puede controlarse con precisión por el sistema informático de formación de imágenes 32 para mover la fuente 36, el colimador 37 y el detector de panel plano 100 con respecto al paciente 14 para generar datos de imagen precisos del paciente 14. Además, el sistema de formación de imágenes 10 puede conectarse con el procesador 26 a través de la conexión 31, que puede incluir una conexión cableada o inalámbrica o una transferencia de medios físicos desde el sistema de formación de imágenes 10 al procesador 26. Por lo tanto, los datos de imagen recopilados con el sistema de formación de imágenes 10 también pueden transferirse desde el sistema informático de formación de imágenes 32 al sistema informático 22 para la navegación, visualización, reconstrucción, etc.

Brevemente, con referencia continuada a la figura 1, de acuerdo con diversas realizaciones, el sistema de formación de imágenes 10 puede usarse con un procedimiento no navegado o navegado. En un procedimiento no navegado, puede usarse un localizador, que incluye uno o ambos de un localizador óptico 60 y un localizador electromagnético 62, para generar un campo o recibir o enviar una señal dentro de un dominio de navegación en relación con el paciente 14. Si se desea, los componentes asociados con la realización de un procedimiento de navegación podrían integrarse dentro del sistema de formación de imágenes 10. El espacio navegado o el dominio de navegación relativo al paciente 14 puede registrarse en los datos de imagen 18 para permitir el registro de un espacio de navegación definido dentro del dominio de navegación y un espacio de imagen definido por los datos de imagen 18. Puede conectarse un seguidor de paciente o un armazón de referencia dinámico 64 al paciente 14 para permitir un registro y mantenimiento dinámico del registro del paciente 14 en los datos de imagen 18.

A continuación, puede hacerse el seguimiento de un instrumento 66 en relación con el paciente 14 para permitir un procedimiento navegado. El instrumento 66 puede incluir un dispositivo de seguimiento óptico 68 y/o un dispositivo de seguimiento electromagnético 70 para permitir el seguimiento del instrumento 66 con uno o ambos del localizador óptico 60 o el localizador electromagnético 62. El instrumento 66 puede incluir una línea de comunicación 72 con un dispositivo de interfaz de navegación 74, que puede comunicarse con el localizador electromagnético 62 y/o el localizador óptico 60. Usando las líneas de comunicación 72, 78, respectivamente, el dispositivo de interfaz de navegación 74 puede comunicarse, a continuación, con el procesador 26 con una línea de comunicación 80. Se entenderá que cualquiera de las conexiones o líneas de comunicación 28, 31, 76, 78 u 80 puede ser una transmisión o movimiento de medios cableados, inalámbricos o físicos, o cualquier otra comunicación adecuada. Sin embargo, los sistemas de comunicación adecuados pueden estar provistos de los localizadores respectivos para permitir el seguimiento del instrumento 66 en relación con el paciente 14 para permitir una ilustración de la localización seguida del instrumento 66 en relación con los datos de imagen 18 para realizar un procedimiento.

Se entenderá que el instrumento 66 puede ser un instrumento de intervención y/o un implante. Los implantes pueden incluir un stent ventricular o vascular, un implante espinal, un stent neurológico o similares. El instrumento 66 puede ser un instrumento de intervención tal como un estimulador cerebral o neurológico profundo, un dispositivo de ablación u otro instrumento adecuado. El seguimiento del instrumento 66 permite ver la localización del instrumento 66 en relación con el paciente 14 con el uso de los datos de imagen registrados 18 y sin la visualización directa del instrumento 66 dentro del paciente 14. Por ejemplo, el instrumento 66 podría ilustrarse gráficamente como un icono superpuesto a los datos de la imagen 18.

Además, el sistema de formación de imágenes 10 puede incluir un dispositivo de seguimiento, tal como un dispositivo de seguimiento óptico 82 o un dispositivo de seguimiento electromagnético 84 a seguir con un localizador óptico respectivo 60 o el localizador electromagnético 62. El dispositivo de seguimiento 82, 84 puede asociarse directamente con la fuente 36, el detector de panel plano 100, el rotor 35, el portal 34 u otra parte adecuada del sistema de formación de imágenes 10 para determinar la localización o la posición de la fuente 36, el detector de panel plano 100, el rotor 35 y/o el portal 34 en relación con un armazón de referencia seleccionado. Tal como se ilustra, el dispositivo de seguimiento 82, 84 puede colocarse en el exterior de la carcasa del portal 34. En consecuencia, puede realizarse un seguimiento del sistema de formación de imágenes 10 en relación con el paciente 14, al igual que el instrumento 66, para permitir el registro inicial, el registro automático o el registro continuado del paciente 14 en relación con los datos de imagen 18. El registro y los procedimientos navegados se exponen en la solicitud de patente de Estados Unidos incorporada anteriormente n.º 12/465.206, presentada el 13 de mayo de 2009.

En un ejemplo, los datos de imagen 18 pueden comprender una única imagen 2D. En otro ejemplo, el módulo de control de imagen 96 puede realizar una reconstrucción automática de un modelo tridimensional inicial del área de interés del paciente 14. La reconstrucción del modelo tridimensional puede realizarse de cualquier manera adecuada, tal como el uso de técnicas algebraicas para la optimización. Las técnicas algebraicas adecuadas incluyen la maximización de la expectativa (EM), los subconjuntos ordenados EM (OS-EM), la técnica de reconstrucción algebraica simultánea (SART) y la minimización de la variación total. La aplicación para realizar una reconstrucción volumétrica 3D basada en las proyecciones 2D permite una reconstrucción volumétrica eficiente y completa.

En general, una técnica algebraica puede incluir un proceso iterativo para realizar una reconstrucción del paciente 14 para visualizar como los datos de imagen 18. Por ejemplo, una proyección de datos de imagen pura o teórica, tal como la basada en o generada a partir de un atlas o modelo estilizado de un paciente "teórico", puede cambiarse de manera iterativa hasta que las imágenes de proyección teóricas coincidan con los datos de imagen de proyección 2D adquiridos del paciente 14. A continuación, el modelo estilizado puede modificarse adecuadamente como el modelo de reconstrucción volumétrica 3D de los datos de imagen de proyección 2D adquiridos del paciente seleccionado 14 y pueden usarse en una intervención quirúrgica, tal como la navegación, el diagnóstico o la planificación. En este sentido, el modelo estilizado puede proporcionar detalles adicionales con respecto a la anatomía del paciente 14, lo que le permite al usuario planificar la intervención quirúrgica de manera mucho más eficiente. El modelo teórico puede asociarse con datos de imagen teóricos para construir el modelo teórico. De esta manera, el modelo o los datos de imagen 18 pueden construirse basándose en los datos de imagen adquiridos del paciente 14 con el sistema de formación de imágenes 10. El módulo de control de imagen 96 puede emitir los datos de imagen 18 al dispositivo de visualización 32a.

Haciendo referencia a las figuras 4A y 4B, se ilustra esquemáticamente un detector de panel plano de la técnica anterior a modo de ejemplo. El detector de panel plano 40 puede incluir una capa de centelleo 42 colocada para recibir rayos X de una fuente de rayos X, tal como la fuente 36 en la figura 3 (después de pasar a través del sujeto 14), y una capa de vidrio 44 que incluye una capa electrónica 46. La capa de centelleo 42 es una capa de material de centelleo depositada directamente sobre la capa de vidrio 44. La capa de centelleo 42 puede ser, por ejemplo, una capa de oxisulfato de gadolinio o una capa de yoduro de cesio (CsI). La capa electrónica 46 puede incluir una matriz de circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), tal como una matriz de transistores de película delgada (TFT) 48 y está conectada a un módulo de control de escaneo 52 y un módulo de lectura de salida 50. Más específicamente, la capa de centelleo 42 se coloca para recibir los rayos X incidentes procedentes de una fuente de rayos X (a través del sujeto) y convierte los rayos X en fotones de luz o rayos de luz que pasan a través de la capa de vidrio 44. La capa de vidrio 44 puede recubrirse con silicio amorfo impreso con una multitud de TFT 48 dispuestos en una cuadrícula regular de filas y columnas (mostrada en la figura 4B) que es parte de la capa electrónica 46. Cada uno de los TFT 48 se une a un fotodiodo que corresponde a un píxel individual (elemento de imagen). Los fotones que inciden sobre los fotodiodos en los TFT 48 tienen una intensidad variable y se convierten en señales eléctricas, tal como una carga eléctrica (electrones) que se almacenan en la capacitancia de los fotodiodos y crean un patrón eléctrico correspondiente a la intensidad variable de los fotones. Los TFT/fotodiodos 48 se escanean progresivamente una línea a la vez (tal como una fila o columna) en una dirección usando el módulo de control de escaneo 52. Los TFT 48 actúan como conmutadores que descargan la carga de electrones almacenada de cada píxel en una fila (o columna) seleccionada para una línea de datos acoplada al módulo de lectura de salida 50. Al final de cada línea de datos, un amplificador puede convertir la carga de electrones en tensión. El módulo de lectura de salida 50 puede incluir una etapa de ganancia programable y un convertidor analógico a digital (ADC) que convierte la tensión en un número digital que puede producir una imagen digital en una pantalla de ordenador. Se observa que en el detector de panel plano 40 de la técnica anterior, los ASIC se alinean en una cuadrícula y crean un área de píxeles de captación de luz que tienen un tamaño fijo.

En contraste con el detector de panel plano de la técnica anterior 40, las presentes enseñanzas proporcionan diversos detectores de panel planos 100, 100a, 100b, 100c (figuras 5-8) que usan microescáneres o escáneres MEMS 106 que incluyen fotodetectores con un ángulo de aceptación estrecho, de tal manera que cada fotodetector capta la luz de un área pequeña de la capa de centelleo, de tal manera que la calibración, el patrón de escaneo y la velocidad de muestreo pueden controlarse para cada escáner MEMS 106. Cada área escaneada por un escáner MEMS correspondiente produce un bloque de una imagen y la imagen completa se crea uniendo estos bloques como en los detectores de panel planos 40 de la técnica anterior. Algunas de las áreas de interés de la capa de centelleo 42 pueden escanearse por dos (o más) escáneres MEMS con campos de visión superpuestos. Los escáneres MEMS pueden incluir accionadores y pivotes lineales y pueden permitir, por ejemplo, patrones de trama de escaneo de forma rectangular 122a, 122b, 122c con frecuencias de barrido variables, patrones de trama en espiral 120 u otros patrones de trama, como se muestra en la figura 5B.

Haciendo referencia a la figura 5A, el detector MEMS 100 de las presentes enseñanzas incluye una capa de centelleo 102 y una capa de vidrio 104 que tiene una superficie interior 105 y una superficie exterior 109. La capa de centelleo recibe los rayos X que pasan a través de un sujeto y centellea para producir luz en un espectro específico a través de la capa de vidrio 104. Los rayos de luz pueden estar en un espectro que sea visible o invisible al ojo humano. El espectro de la luz emitida desde la capa de centelleo 102 depende de la composición específica de la capa de centelleo seleccionada 102. La luz se muestra como unos rayos de luz 101 que pasan a través de una capa de silicio amorfo 108 sobre un sustrato endurecido 110 que soporta los escáneres MEMS (TFT MEMS) 106. El sustrato 110 puede ser sustancialmente paralelo a la capa de vidrio 104. El detector de panel plano MEMS 100 incluye un módulo de control MEMS 152 y un módulo electrónico de lectura de salida 150. El módulo de control MEMS 152 se acopla a cada escáner MEMS 106 y controla los accionadores lineales en dos direcciones ortogonales para pivotar (como se ilustra en 107) alrededor de uno o dos ejes ortogonales y producir diferentes patrones de trama de escaneo (incluyendo los patrones de trama rectangulares 122a, 122b, 122c y los patrones de trama en espiral 120), tal como los mostrados en la figura 5B, expuestos anteriormente. Las realizaciones a modo de ejemplo de los escáneres MEMS 200, 300 se ilustran esquemáticamente en las figuras 9 y 10 y se exponen a continuación. Los escáneres MEMS 106 incluidos en el detector MEMS 100 pueden ser diferentes, incluyendo, por

ejemplo, diferentes tipos de fotodiodos con diferentes sensibilidades, incluidos los diodos PIN y los fotodiodos de avalancha. Además, los fotodetectores pueden seleccionarse para detectar diferentes espectros de luz emitidos desde diferentes capas de centelleo 102. Los escáneres MEMS pueden colocarse a diferentes distancias, tal como lo suficientemente cerca entre sí para crear un área de superposición 103 entre los escáneres MEMS adyacentes 106, o lo suficientemente separados para que no haya superposición entre los escáneres MEMS adyacentes 106. En este sentido, un área específica de interés puede barrerse por dos tipos diferentes de fotodiodos que tienen diferentes sensibilidades (tales como los fotodiodos de avalancha y los fotodiodos estándar), o simplemente hacer un sobremuestreo de la misma región con dos fotodiodos que tengan la misma sensibilidad. En consecuencia, pueden formarse imágenes de áreas de interés específicas con una resolución controlada mediante velocidades de muestreo seleccionadas del ADC y proporcionar flexibilidad y creatividad al procesamiento de imágenes.

A continuación se describen las realizaciones adicionales 100a, 100b, 100c del detector de panel plano MEMS 100 de las presentes enseñanzas con referencia a las figuras 6-8, resaltando las diferencias sin repetir la descripción de características similares.

Haciendo referencia a la figura 6, se ilustra otra realización de un detector de panel plano MEMS 100a de acuerdo con las presentes enseñanzas. En esta realización, los escáneres MEMS 106 (106a) pueden unirse por debajo de la capa de vidrio 104, sobre la superficie interior 105 de la capa de vidrio 104 opuesta a la superficie exterior 109 sobre la que se deposita la capa de centelleo 102. Los rayos X pasan a través de la capa de centelleo 102 como en la realización de la figura 5, pero los fotones de luz de la capa de centelleo 102 chocan con una superficie de espejo 130 unida a un sustrato 110 del detector de panel plano MEMS 100a, y se reflejan de tal manera que los microescáneres MEMS 106 detectan los rayos de luz reflejados 101. Los rayos de luz reflejados 101 pueden evitar cualquier sombra provocada por la colocación de los escáneres MEMS 106a directamente por debajo de la capa de vidrio 104. La superficie de espejo 130 puede ser cóncava, orientada hacia los escáneres MEMS 106a. En particular, la superficie de espejo 130 puede conformarse para dirigir todos o la mayoría de los rayos de luz reflejados 101 hacia los escáneres MEMS 106a y evitar pérdidas desde los bordes del detector de panel plano MEMS 100b.

Haciendo referencia a la figura 7, se ilustra otra realización de un detector de panel plano MEMS 100b de acuerdo con las presentes enseñanzas. En esta realización, uno o más escáneres MEMS 106 (106b) se colocan en un panel lateral 125 del detector de panel plano MEMS 100b, en un lado y fuera de un área entre la capa de vidrio 104 y la superficie de espejo 130. La superficie de espejo 130 puede conformarse para dirigir los rayos de luz reflejados 101 hacia los escáneres MEMS laterales 106b. La superficie de espejo 130 se muestra como una superficie plana inclinada unida a un sustrato 110 en la realización a modo de ejemplo de la figura 7. La colocación lateral de los escáneres MEMS 106b puede simplificar la fabricación del detector de panel plano MEMS 100b y puede facilitar el escaneo y el control de las regiones de extremo del área de interés. Debe apreciarse que las realizaciones de las figuras 6 y 7 pueden combinarse, de tal manera que el detector de panel plano MEMS incluye ambos escáneres MEMS laterales 106b y, por debajo, los escáneres MEMS de vidrio 106a con la forma correspondiente de la superficie de espejo 130 para dirigir la luz reflejada a ambas localizaciones de los escáneres MEMS 106b y 106a.

Haciendo referencia a la figura 8, se ilustra otra realización de un detector de panel plano MEMS 100c de acuerdo con las presentes enseñanzas. En esta realización, uno o más escáneres MEMS 106 (106c) se colocan en un sustrato penetrable por rayos X 110 en la trayectoria directa de los rayos X que pasan a través del sujeto y por encima de la capa de centelleo 102 que está unida a la superficie interior 105 de la capa de vidrio 104. En esta realización, los rayos X pasan a través del sustrato 110 y chocan con la capa de centelleo 102, que, a continuación, brilla y emite los rayos de luz 101. A continuación, los escáneres MEMS 106 detectan los rayos de luz 101 y los procesan como se ha descrito anteriormente en referencia a las figuras 5A y 5B.

Haciendo referencia a las figuras 9 y 10, se muestran esquemáticamente las realizaciones a modo de ejemplo 200, 300 de los escáneres MEMS 106 a los que se hace referencia en las figuras 5-8. Haciendo referencia a la figura 9, el escáner MEMS 200 puede incluir un fotodetector en forma de un fotodiodo 206 con una lente 204. La lente 204 puede ser una lente divergente de gran angular o una lente convergente de distancia focal fija o cualquier otra lente seleccionada para una aplicación específica. También puede usarse una funda o máscara 202 para proteger la lente 204 y/o reducir u optimizar el campo de visión. El fotodiodo 206 puede montarse en una plataforma 208 que se soporta de manera móvil sobre un sustrato, tal como, por ejemplo, sobre el sustrato 110 del detector de panel plano 100 de la figura 5 u otra superficie, pudiendo el escáner MEMS 200 montarse de acuerdo con las realizaciones descritas anteriormente de los detectores de panel planos MEMS 100, 100a 100b, 100c. En la realización de la figura 9, el movimiento de la plataforma 208 puede efectuarse mediante un pivote o bisagra universal 220, un par de accionadores de eje x 210 y un par de accionadores de eje y 210' (no mostrados, pero alineados ortogonalmente con respecto a la plataforma 208 en perpendicular al plano de la figura 9). Los accionadores x e y 210, 210' pueden activarse a través de unos conectores alargados 212 mediante un módulo de control MEMS correspondiente, tal como el módulo de control MEMS 152 mostrado en la figura 5A. Los accionadores 210, 210' pueden activarse con unas señales de pulso transmitidas a través de los conectores 212 y permiten que la plataforma pivote alrededor de dos ejes ortogonales (ejes x e y). La plataforma 208 puede accionarse para moverse en un patrón predefinido, tal como, por ejemplo, un escaneo de trama rectangular o cuadrada de frecuencia específica o un escaneo en espiral, como se muestra en la figura 5B. El área de la huella de los escáneres MEMS 200 puede ser del orden de milímetros cuadrados, mientras que el detector de panel plano MEMS tiene dimensiones del orden de 30x40 o

40x40 cm².

Haciendo referencia a la figura 10, se ilustra otra realización de un escáner MEMS 300. El escáner MEMS incluye un fotodetector en forma de un espejo con forma de disco 330 que puede oscilar en relación con el primero y/o el segundo (ejes x e y). El espejo 330 puede soportarse en un armazón 320 con unos elementos flexibles 322. El armazón 320 puede incluir una capa magnética flexible delgada y puede soportarse por unos elementos flexibles 318 en las columnas 314 a través de los resortes 316. Las columnas 314 pueden extenderse desde un sustrato fijo o desde partes de un núcleo 310 alrededor del que se enrolla una electrobobina formando un generador de flujo. La corriente alterna puede proporcionarse a través de los puertos P1 y P2 e inducir un campo magnético. Las fuerzas resultantes pueden hacer rotar el armazón 320 alrededor del eje x y el espejo 330 alrededor del eje y con respecto al armazón. El armazón 320 puede colocarse en un pequeño desplazamiento con respecto al centro de la electrobobina para proporcionar un par neto. Los detalles del escáner MEMS que usa un espejo se proporcionan, por ejemplo, en Yalcinkaya et al, "NiFe Plated Biaxial MEMS Scanner for 2-D Imaging", IEEE Photonics Technology Letters, vol. 19, n.º 5, 1 de marzo de 2007, págs. 330-332, que se incorpora como referencia en el presente documento. Diversos escáneres MEMS basados en espejo están disponibles en el mercado, por ejemplo, en Microvision, Redmond, WA, EE. UU.

En resumen, las presentes enseñanzas proporcionan diversos detectores de panel planos MEMS 100, 100a, 100b, 100c para la formación de imágenes basadas en rayos X, incluyendo la formación de imágenes CBCT de los pacientes. Los detectores de panel planos MEMS pueden incluir una pluralidad de escáneres MEMS idénticos o diferentes 106 en una matriz bidimensional (incluidos los escáneres MEMS de 200, 300) que pueden accionarse para proporcionar diversos patrones de escaneo diferentes en una pluralidad de localizaciones seleccionadas, incluyendo las localizaciones diseñadas para proporcionar campos de visión superpuestos y escaneos superpuestos, para personalizar el escaneo, cambiar la resolución, controlar la relación señal a ruido y la velocidad de adquisición. Además, el procesamiento de imágenes puede mejorarse escaneando la misma área con dos ganancias diferentes desde diferentes escáneres MEMS 106 que tienen áreas de superposición 103. En consecuencia, los detectores de panel planos MEMS de las presentes enseñanzas pueden simplificar la fabricación y proporcionar flexibilidad en el escaneo de imágenes de áreas de interés, reducción de costes, reducción de calibración y procesamiento de imágenes.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de formación de imágenes por rayos X (10) para formar imágenes de un sujeto que comprende:
- 5 una fuente de rayos X (36) configurada para proyectar una radiación de rayos X hacia una parte del sujeto; y un detector de panel (100) colocado frente a la fuente de rayos X con respecto al sujeto y configurado para recibir una radiación de rayos X que pasa a través del sujeto, incluyendo el detector de panel:
- 10 una capa de centelleo (102) que convierte la radiación de rayos X en rayos de luz de un espectro seleccionado;
- caracterizado por que** el detector de panel incluye además:
- 15 una pluralidad de escáneres microelectromecánicos (106), incluyendo cada escáner microelectromecánico un fotodetector montado en una plataforma móvil correspondiente y configurado para detectar la luz en el espectro seleccionado; y un módulo de control de escaneo (152) configurado para mover cada plataforma en un patrón de escaneo seleccionado.
2. El sistema de formación de imágenes por rayos X de la reivindicación 1, en el que los patrones de escaneo seleccionados de cada escáner microelectromecánico se seleccionan a partir de escaneos de trama radial, escaneos de trama rectangular de diferentes frecuencias y escaneos en espiral.
3. El sistema de formación de imágenes por rayos X de la reivindicación 1, en el que cada escáner microelectromecánico está dispuesto para escanear un área correspondiente de la capa de centelleo.
- 25 4. El sistema de formación de imágenes por rayos X de la reivindicación 3, en el que algunos de la pluralidad de escáneres microelectromecánicos están dispuestos para tener áreas de escaneo superpuestas.
5. El sistema de formación de imágenes por rayos X de la reivindicación 1, en el que el detector de panel incluye una capa de vidrio (104) sobre la que se deposita la capa de centelleo y un sustrato (110) paralelo a la capa de vidrio y separado de la capa de vidrio.
- 30 6. El sistema de formación de imágenes por rayos X de la reivindicación 5, en el que el detector de panel incluye una capa de silicio amorfo entre la capa de vidrio y el sustrato.
- 35 7. El sistema de formación de imágenes por rayos X de la reivindicación 5, en el que al menos uno de la pluralidad de escáneres microelectromecánicos está montado en el sustrato, o en una superficie de la capa de vidrio opuesta a la capa de centelleo, o en un sustrato lateral fuera de un capa formada entre la capa de vidrio y el sustrato.
- 40 8. El sistema de formación de imágenes por rayos X de la reivindicación 7, en el que el detector de panel incluye una superficie de espejo (130) montada en el sustrato y conformada para reflejar los rayos de luz desde la capa de centelleo hasta el al menos un escáner microelectromecánico montado en la superficie de la capa de vidrio opuesta a la capa de centelleo.
- 45 9. El sistema de formación de imágenes por rayos X de la reivindicación 8, en el que la superficie de espejo es parcialmente cóncava hacia la capa de vidrio.
10. El sistema de formación de imágenes por rayos X de la reivindicación 5, en el que la capa de centelleo está situada o en una superficie exterior del vidrio con respecto al detector de panel o en una superficie interior de la capa de vidrio con respecto al detector de panel.
- 50 11. El sistema de formación de imágenes por rayos X de la reivindicación 1, en el que al menos un fotodetector incluye un fotodiodo (206) o un espejo.
- 55 12. El sistema de formación de imágenes por rayos X de la reivindicación 1, en el que la plataforma móvil es pivotante.
13. El sistema de formación de imágenes por rayos X de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de escáneres micromecánicos incluye fotodetectores de diferentes sensibilidades.
- 60 14. El sistema de formación de imágenes por rayos X de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de escáneres micromecánicos incluye fotodiodos PIN y fotodiodos de avalancha.
- 65 15. El sistema de formación de imágenes por rayos X de la reivindicación 1, en el que el detector de panel incluye además:

- una capa de vidrio sobre la que se deposita la capa de centelleo;
una capa de silicio amorfo;
un sustrato; e
5 incluyendo el sistema de formación de imágenes por rayos X además un módulo electrónico de lectura de salida (150) para el procesamiento de imágenes.
16. El sistema de formación de imágenes por rayos X de la reivindicación 15, en el que la pluralidad de escáneres microelectromecánicos están montados en el sustrato o en una superficie interior de la capa de vidrio.
- 10 17. El sistema de formación de imágenes por rayos X de la reivindicación 15, en el que al menos un fotodetector incluye un fotodiodo montado en la plataforma móvil o un espejo montado en la plataforma móvil.
18. Un método de formación de imágenes por rayos X que comprende:
- 15 proporcionar un detector de panel (100) que incluye una capa de centelleo (102) depositada sobre una capa de vidrio y una pluralidad de escáneres microelectromecánicos (106), incluyendo cada escáner microelectromecánico un fotodetector montado en una plataforma móvil correspondiente;
dirigir la radiación de rayos X emitida desde una fuente de rayos X a la capa de centelleo de tal manera que el sujeto esté entre la fuente de rayos X y el detector de panel;
20 dirigir los rayos de luz emitidos desde la capa de centelleo hacia los escáneres microelectromecánicos;
controlar cada escáner microelectromecánico para escanear un área correspondiente de la capa de centelleo en un patrón de escaneo individualmente seleccionable; y
procesar los patrones de escaneo; y
25 producir una imagen de una parte del sujeto.
19. El método de la reivindicación 18, que comprende además:
escanear un área de la capa de centelleo con al menos dos escáneres microelectromecánicos adyacentes que tienen campos de visión superpuestos.

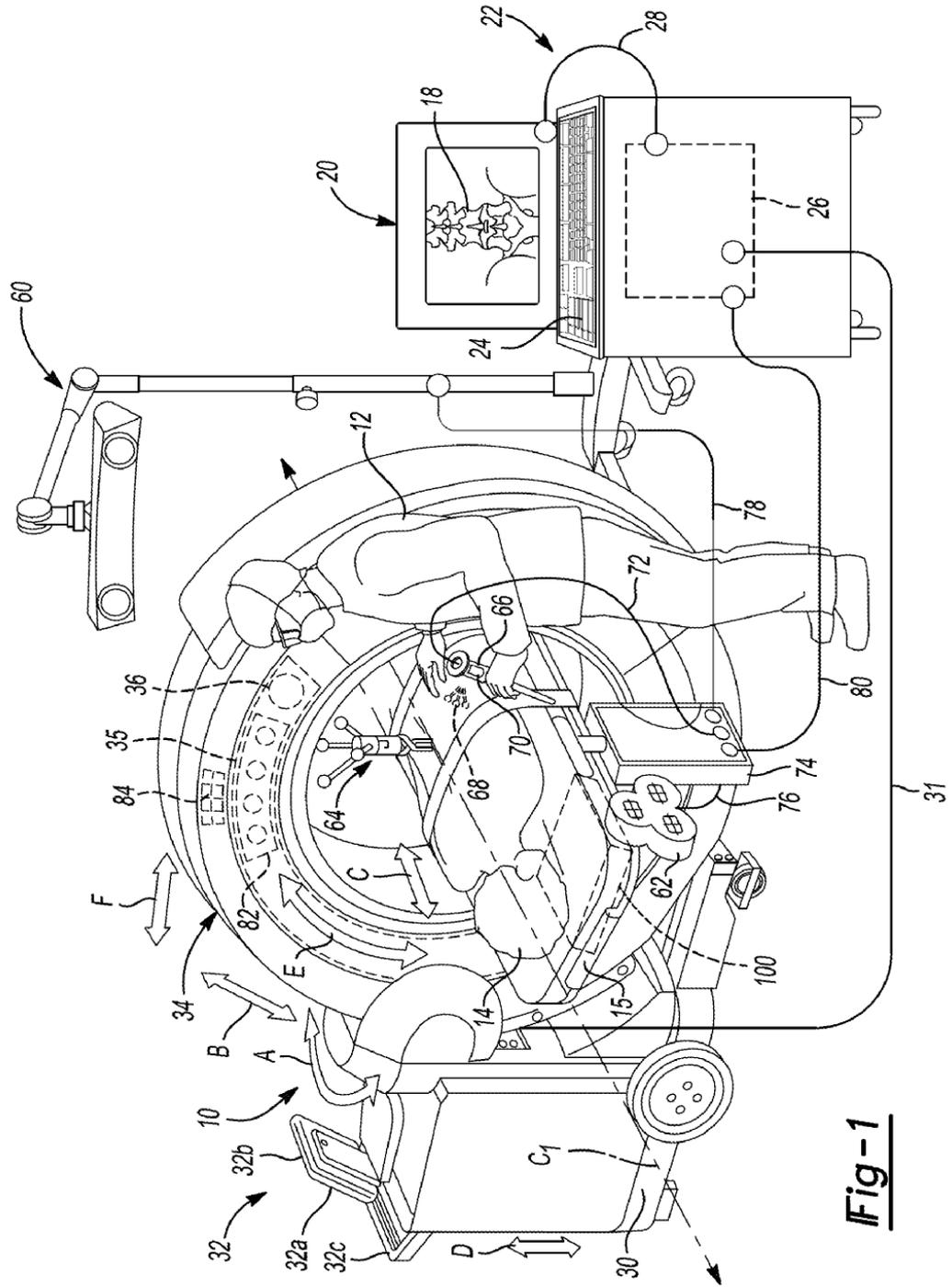
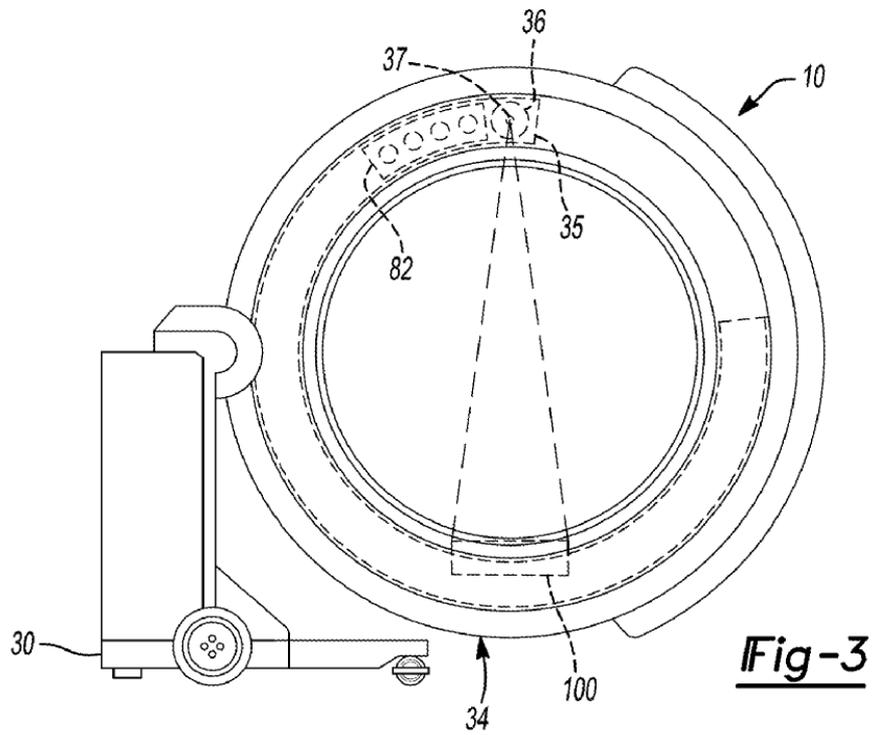
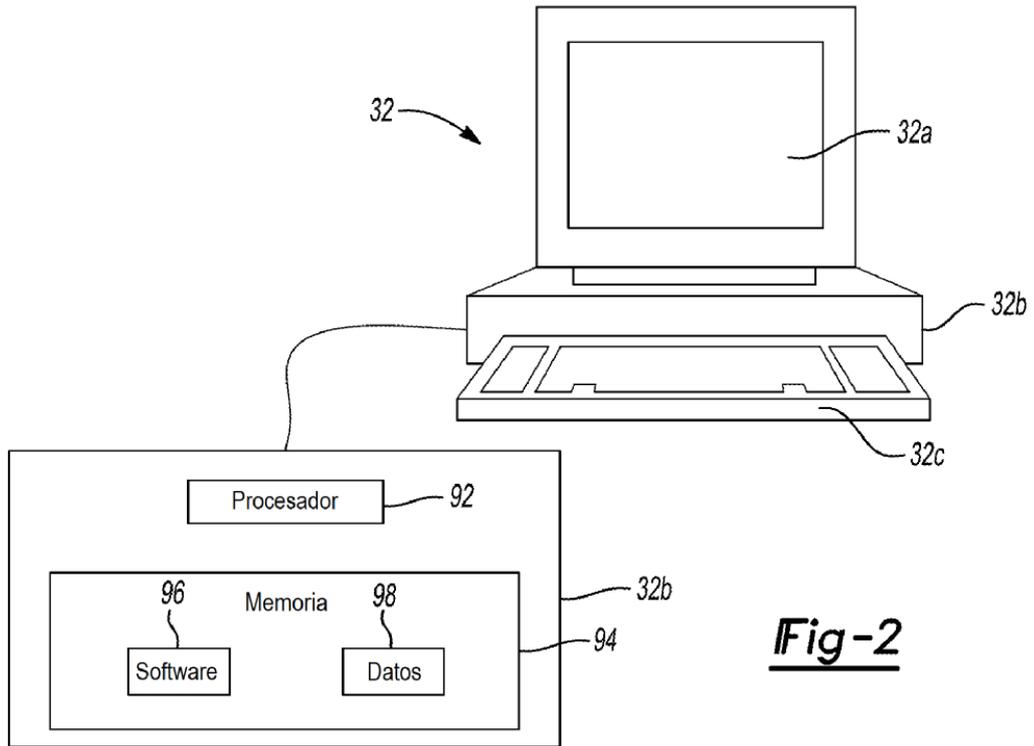


Fig-1



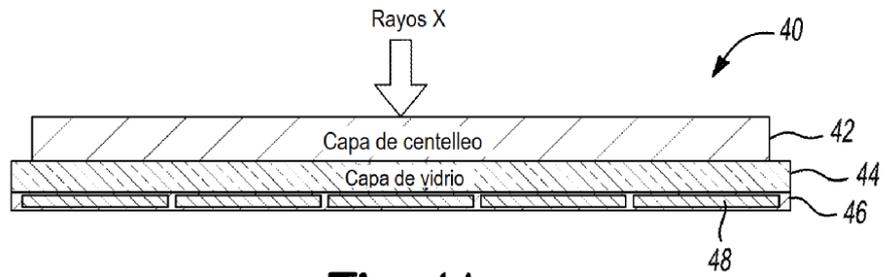


Fig-4A
TÉCNICA ANTERIOR

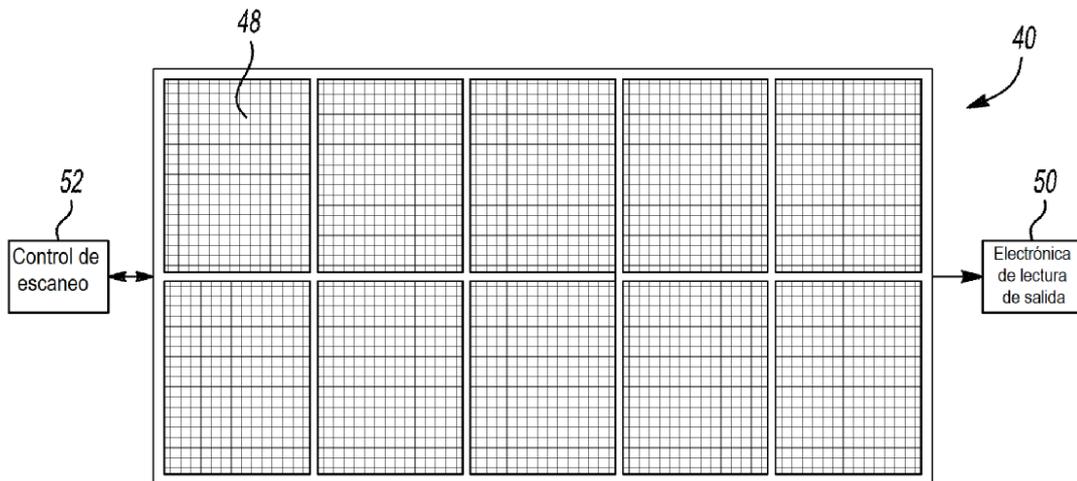


Fig-4B
TÉCNICA ANTERIOR

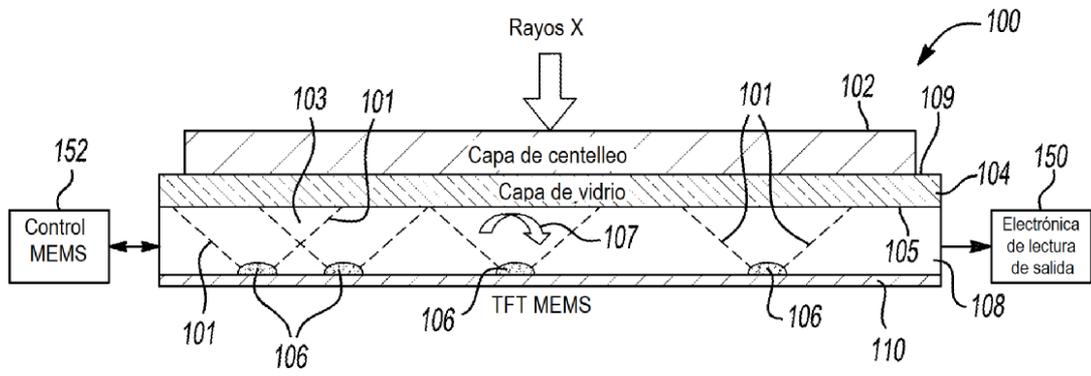


Fig-5A

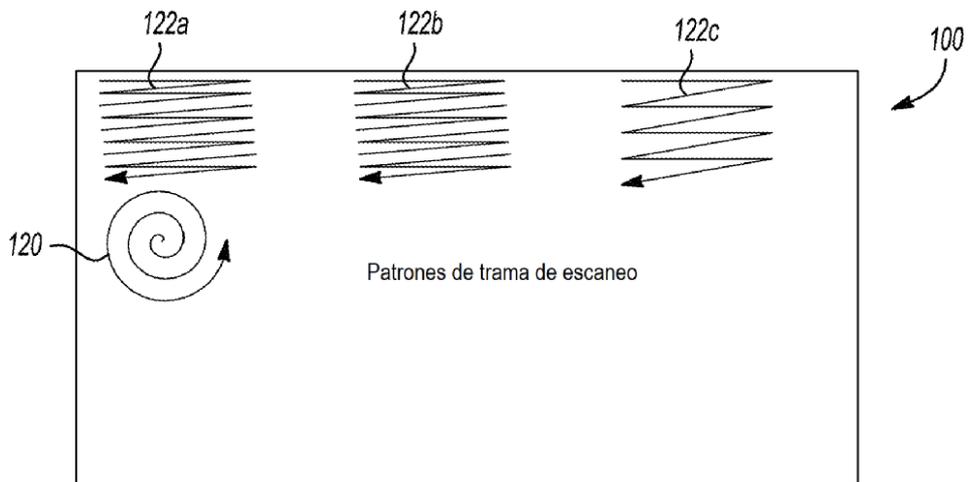


Fig-5B

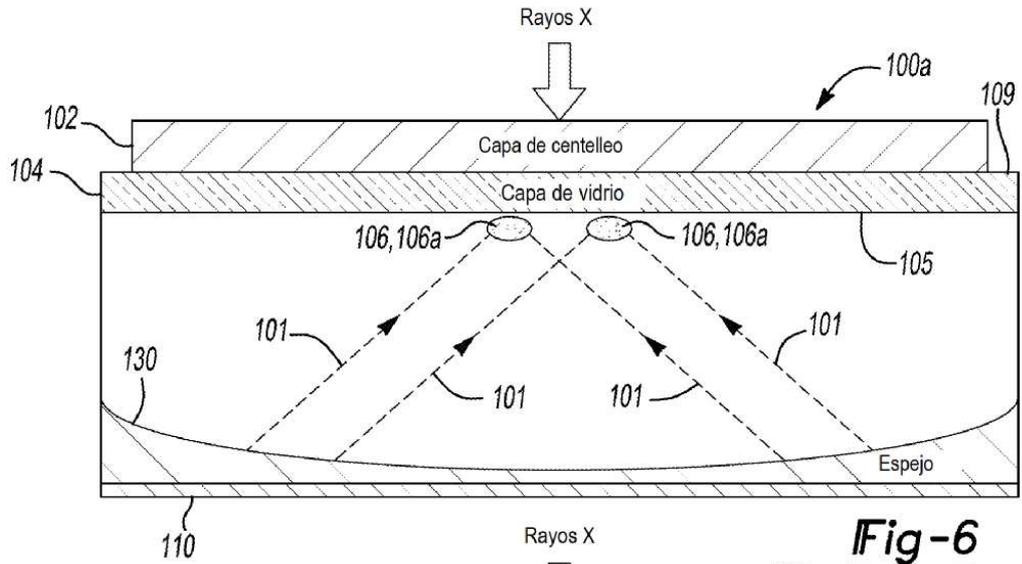


Fig-6

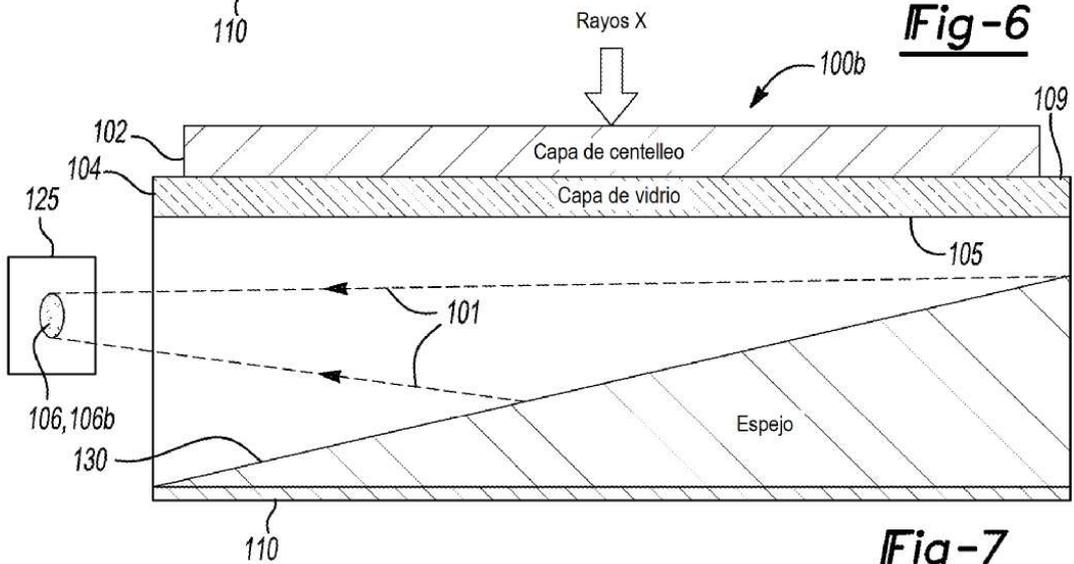


Fig-7

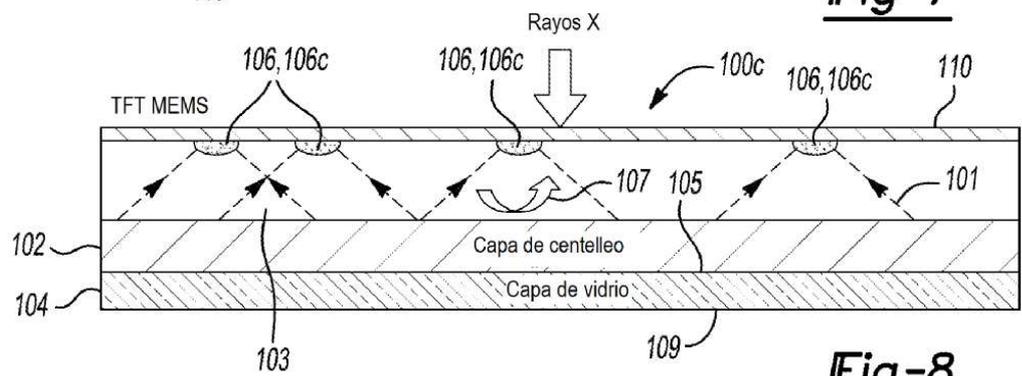


Fig-8

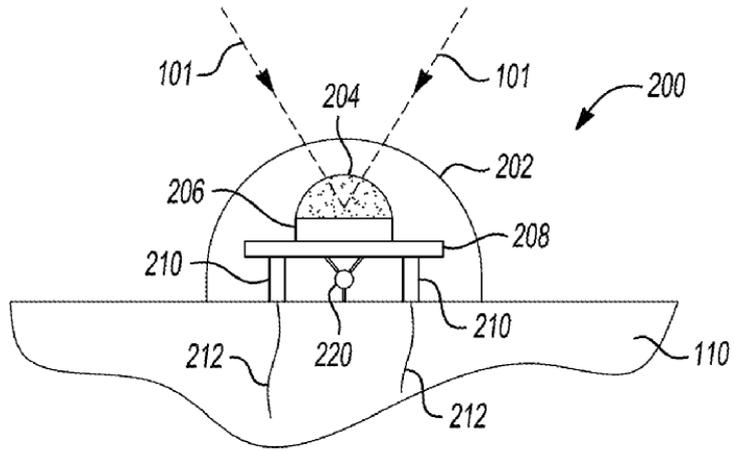


Fig-9

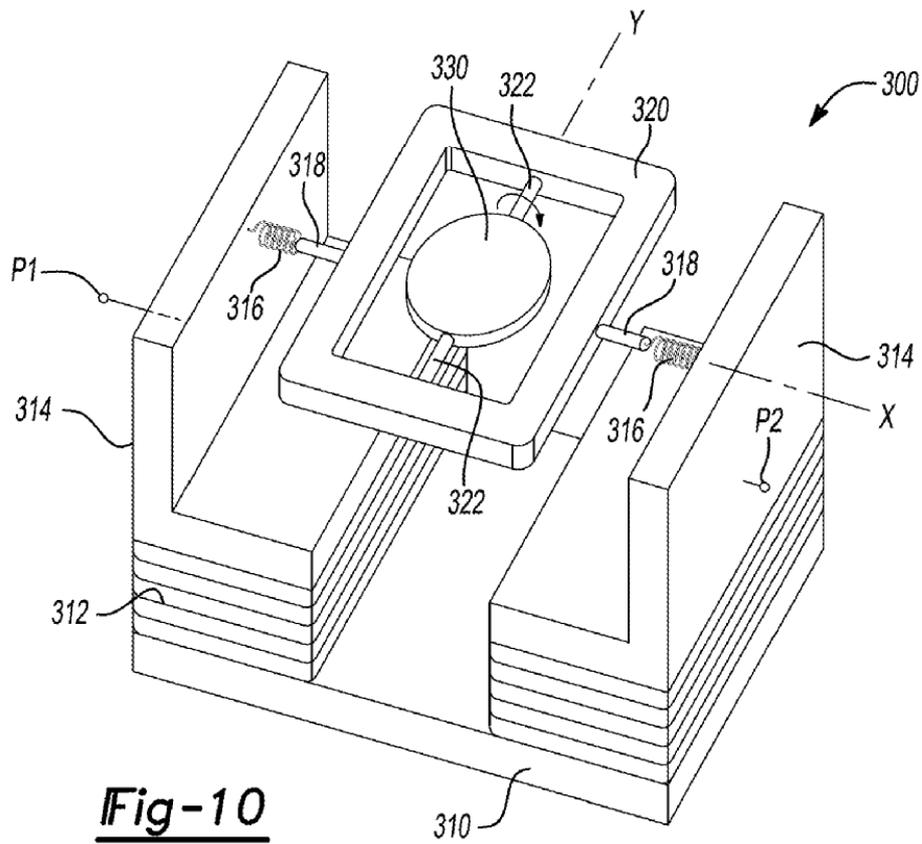


Fig-10