

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 845 000**

51 Int. Cl.:

A61N 5/10 (2006.01)

A61B 17/34 (2006.01)

A61B 90/98 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.03.2018** **PCT/EP2018/057681**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.10.2018** **WO18178031**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.03.2018** **E 18717250 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.12.2020** **EP 3600547**

54 Título: **Sistema para el posicionamiento de agujas médicas**

30 Prioridad:

30.03.2017 EP 17382162

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

23.07.2021

73 Titular/es:

SERVICIO CÁNTABRO DE SALUD (50.0%)
Hospital Universitario Marqués de Valdecilla,
Departamento: Radioterapia, Avenida Valdecilla
s/n
39008 Santander (Cantabria), ES y
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (50.0%)

72 Inventor/es:

PRADA GÓMEZ, PEDRO JOSÉ;
RABA DÍEZ, JUAN IGNACIO;
RODRÍGUEZ COBO, LUIS;
VALDIANDE GUTIÉRREZ, JOSÉ JULIÁN;
COBO GARCÍA, ADOLFO;
CONDE PORTILLA, OLGA MARÍA y
LÓPEZ HIGUERA, JOSÉ MIGUEL

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 845 000 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

Sistema para el posicionamiento de agujas médicas

5 Campo técnico

La presente invención se refiere al campo de los sistemas de colocación de implantes médicos. En particular, se refiere a sistemas para técnicas de radioterapia oncológica, tales como la braquiterapia.

10 Técnica anterior

El cáncer a menudo se trata con una combinación de terapias. Una de estas terapias es la terapia de radiación (radioterapia). La braquiterapia es una forma de radioterapia en la que se coloca una fuente de radiación sellada en el cuerpo –cuerpo animal en general– en o cerca del área que requiere tratamiento. La fuente radiactiva se coloca mediante catéteres o agujas huecas, que se insertan dentro del cuerpo hacia la ubicación diana. La fuente radiactiva puede ser una fuente emisora de energía de alta tasa de dosis (HDR, por sus siglas en inglés) o una fuente de baja tasa de dosis (LDR, por sus siglas en inglés). Las fuentes radiactivas LDR se implantan permanentemente en el tejido corporal. La braquiterapia se usa comúnmente como un tratamiento eficaz para el cáncer de cuello uterino, próstata, mama y piel, y también se puede usar para tratar tumores en muchas otras partes del cuerpo.

Para insertar agujas dentro del cuerpo a través de la piel, se utilizan convencionalmente dispositivos de plantilla. Los dispositivos de plantilla de braquiterapia habitualmente incluyen medios de fijación, como un marco o uno o más accesorios, y un componente de guía de la aguja para guiar las agujas dentro del cuerpo hacia la posición objetivo. La Figura 1A muestra un dispositivo 10A de rejilla o plantilla de braquiterapia pasiva convencional que tiene dos accesorios 13 para fijar el dispositivo a un equipo médico adicional en el que se montan habitualmente los dispositivos de plantilla. A modo de ejemplo, las Figuras 1C y 1D muestran los respectivos pasos 15 sobre los que normalmente se montan los dispositivos de plantilla 10C 10D. Los pasos 15 mostrados también tienen una sonda 16 de ultrasonidos acoplada a los mismos.

Volviendo a la Figura 1A, el dispositivo de plantilla puede incluir un marco que proporciona integridad física y una placa de guía que incluye una pluralidad de aberturas o de agujeros pasantes para guiar las agujas hacia la ubicación deseada en el cuerpo. El dispositivo de plantilla mostrado en la Figura 1A tiene el componente de guía 12 integrado dentro del marco 11. Las aberturas 14 habitualmente forman una matriz x-y (matriz cartesiana), es decir, las aberturas 14 se extienden en filas orientadas en la dirección x, y en columnas orientadas en la dirección y. El dispositivo 10A en la Figura 1A tiene 13 filas y 13 columnas, las filas se identifican con números (1, 2,... 12) y las columnas se identifican con letras (A, B,... M), pero se puede seleccionar cualquier otra cantidad de filas y columnas. Cada abertura está dimensionada para recibir una aguja. Por tanto, cada abertura corresponde a una ubicación en las direcciones x e y en una sección transversal de una parte del cuerpo dispuesta paralelamente al componente de guía. La Figura 1B muestra otro dispositivo 10B de rejilla o plantilla de braquiterapia pasiva convencional, en el que el componente de guía también está integrado dentro del marco. Sin embargo, las aberturas en este dispositivo 10B no forman una matriz cartesiana (es decir, no forman una matriz x-y). Además, en este caso no se hace referencia a las aberturas. Incluso si así fuera, por ejemplo, asignando un número a cada abertura, la identificación de las agujas se vuelve difícil debido a la ausencia de un patrón regular.

Las plantillas convencionales que se muestran no garantizan que las fuentes de radiación se coloquen en el lugar deseado según lo prescrito por el plan de tratamiento con la precisión requerida para un tratamiento correcto. Incluso las desviaciones más pequeñas en la ubicación de las fuentes de radiación pueden hacer que el margen tumoral restante no reciba la radiación adecuada y que el tejido sano reciba radiación no deseada.

Se han realizado avances en las plantillas de braquiterapia con el fin de mejorar la fiabilidad de la colocación de las agujas –y por tanto de la fuente de radiación– en la ubicación exacta de la diana. El documento US7527593B2 desvela una placa de guía para insertar agujas en un cuerpo a través de una pluralidad de aberturas dispuestas en la placa de guía. Para cada una de las aberturas, hay una disposición de sensor para detectar la presencia de una aguja insertada a través de la abertura. Cada sensor se implementa mediante un LED y un fotodetector, de tal manera que cuando se inserta una aguja por la abertura, la aguja bloquea el flujo de luz del LED, detectando así la presencia de la aguja debido a la ausencia de luz. O cada sensor se implementa por medio de un inductor cuya inductancia se modifica a medida que la aguja pasa por la abertura. Los sensores de la placa de guía están conectados a una pantalla que muestra qué aberturas de la placa de guía tienen agujas y cuáles no. Por lo tanto, las ubicaciones donde se deben insertar las agujas se identifican con un primer color en la pantalla y todas las demás ubicaciones con un segundo color. Una vez que se ha detectado que se inserta una aguja a través de la placa de guía, el color de la ubicación correspondiente en la pantalla cambia del primer color al segundo color, lo que indica que ya hay una aguja colocada en la ubicación correcta. De manera similar, el documento US2010/0019918A1 desvela una plantilla de inserción de sonda que usa fuentes de luz para llamar la atención del usuario hacia una abertura a través de la cual se debe insertar una sonda. El documento US2017/014192A1 desvela sistemas para rastrear la inserción de una herramienta de intervención en una región anatómica. El documento US2017/0014641A1 desvela un dispositivo de plantilla para braquiterapia y otros procedimientos que tienen

aberturas que permiten el paso de una aguja. Algunas aberturas tienen un dispositivo sensor que emite una señal en respuesta a la detección de una aguja en la abertura correspondiente.

Otro defecto de los dispositivos de plantilla de braquiterapia convencionales es la determinación de la profundidad a la que se ha insertado la aguja en el tejido corporal. La profundidad de la aguja es una característica tan importante como la ubicación de la aguja para asegurar un tratamiento correcto. Hoy en día, la penetración de la aguja se mide mediante diferentes técnicas relativamente inexactas. La más simple es midiendo manualmente la longitud de una aguja fuera del tejido corporal, calculando así, mediante una mera sustracción, la longitud dispuesta dentro del tejido corporal y, por tanto, la penetración de la aguja. La medición manual es lenta y tediosa, y está sujeta a posibles errores humanos. En el documento US8764619B2 se sugiere una técnica diferente. El documento US8764619B2 desvela un sistema de fijación de agujas de braquiterapia que incluye agujas que tienen características de visualización (patrones geométricos externos) para determinar la posición y orientación de la aguja con respecto a un dispositivo de formación de imágenes electromagnéticas. Las características de visualización se visualizan por medio de un dispositivo de formación de imágenes que genera energía electromagnética. La energía generada por el dispositivo de formación de imágenes golpea la aguja y es reflejada por las características de la aguja como energía irradiada que es recibida por el dispositivo de formación de imágenes. Sin embargo, para tratar de identificar claramente la geometría de la aguja, el dispositivo de formación de imágenes debe instalarse en un plano transversal con respecto al dispositivo de plantilla. Por ejemplo, en un tratamiento para el cáncer de mama, en el que las agujas se insertan en el tejido corporal a través de un dispositivo de plantilla dispuesto en un lado del cuerpo, el dispositivo de formación de imágenes debe colocarse en la mama (parte frontal del cuerpo). Esto complica la aplicación de esta técnica hasta tal punto que a menudo se desaconseja, ya que se hace imposible la detección correcta de las agujas desde un plano accesible del paciente. Además, insertar una aguja que tenga patrones geométricos externos en el tejido humano es más complicado que insertar una aguja lisa (es decir, una aguja que tenga una superficie uniforme). La fabricación de agujas que tienen patrones geométricos externos también implica un proceso industrial más complejo.

Descripción de la invención

El sistema y el dispositivo descritos en la presente divulgación pretenden resolver las deficiencias de los sistemas y dispositivos de la técnica anterior. La invención es como se define en las reivindicaciones adjuntas.

La invención proporciona un mecanismo simple para facilitar la inserción de agujas en el tejido corporal con un control preciso tanto de la posición como de la profundidad de penetración. La invención se basa en una placa de guía que tiene una pluralidad de aberturas para insertar agujas y un bloque de detección que permite tanto la detección de la presencia de agujas insertadas a través de las aberturas como la profundidad de penetración de cada una de las agujas insertadas. El bloque de detección puede implementarse mediante medios de detección. El bloque de detección puede detectar simultáneamente la presencia de varias agujas. La profundidad de penetración de una aguja puede medirse usando una sonda que se inserta a lo largo de una aguja insertada a su vez en una abertura de la placa de guía. Además, la placa de guía puede proporcionar a la persona que inserta las agujas (médico, enfermero, facultativo o, en general, personal médico) una guía visual en la zona de inserción para evitar errores humanos. Esto se puede lograr por medio de un bloque de iluminación implementado con medios de iluminación dispuestos en cada una de las aberturas de la placa de guía. El bloque de iluminación se puede implementar como un sistema electroóptico. El estado de cada medio de iluminación indica si se debe introducir una aguja por la abertura correspondiente o no. La invención también proporciona un sistema que incluye la placa de guía, para guiar la inserción de agujas en el tejido corporal.

La placa de guía puede usarse en combinación con plantillas pasivas convencionales, es decir, con plantillas convencionales que no permiten un control preciso de la posición y/o penetración de las agujas en el tejido corporal, o se pueden integrar o incrustar en las plantillas durante su proceso de fabricación, convirtiéndose así las plantillas en plantillas activas autónomas, es decir, no requiriendo el uso de placas de guía adicionales.

La invención se refiere a un sistema para insertar agujas en un cuerpo según se define en las reivindicaciones adjuntas, que comprende:

una placa de guía que comprende una pluralidad de aberturas, cada abertura que está configurada para recibir una aguja para ser insertada en un cuerpo, en la que al menos algunas aberturas de dicha pluralidad de aberturas tienen un detector respectivo asociado, cada detector que comprende un circuito resonante para detectar la presencia de una aguja insertada en una abertura respectiva, estando configurado dicho circuito resonante para modificar su frecuencia de resonancia cuando la aguja se inserta en la abertura; una sonda para medir, junto con el detector comprendido en una abertura, la profundidad de penetración de una aguja insertada en dicha abertura, estando configurado cada detector para rastrear cambios en su frecuencia de resonancia producidos cuando dicha sonda se inserta a lo largo de la aguja a su vez insertada en la abertura; y electrónica de control para interrogar a cada detector y para determinar la presencia o ausencia de una aguja en una abertura correspondiente y para determinar la profundidad de penetración de una aguja detectada a partir de dichos cambios seguidos en la frecuencia de resonancia de un detector correspondiente.

En realizaciones de la invención, la sonda comprende a lo largo de su eje longitudinal una pluralidad de partes de un

5 primer material y una pluralidad de partes de un segundo material, en la que partes de dicho primer material alternan con partes de dicho segundo material, pudiendo dicho primer material modificar la frecuencia de resonancia del detector asociado a la abertura en la que se inserta la aguja, no modificando dicho segundo material la frecuencia de resonancia de dicho detector, determinándose la profundidad de penetración de la aguja contando el número de veces que se modifica la frecuencia de resonancia de dicho detector a medida que la sonda se desliza a lo largo de la aguja hasta que la sonda alcanza el extremo distal de la aguja.

En realizaciones de la invención, la aguja que va a ser recibida por una abertura comprende dicho primer material.

10 En realizaciones de la invención, la aguja que va a recibir una abertura está configurada para recibir un elemento o dispositivo adicional que comprende dicho primer material.

En realizaciones de la invención, la sonda comprende partes alternas de dicho primer material y dicho segundo material, siendo dichas partes de igual longitud.

15 En realizaciones de la invención, cada circuito resonante comprende una bobina y un elemento capacitivo, en el que el valor nominal de dicha bobina o dicho elemento capacitivo se altera cuando una aguja atraviesa dicha abertura.

20 En realizaciones de la invención, el valor nominal de dicha bobina se altera cuando una aguja atraviesa dicha abertura, permaneciendo fijo el valor nominal de dicho elemento capacitivo.

En realizaciones de la invención, el primer material es un material magnético y dicho segundo material es un material sin respuesta magnética.

25 En realizaciones de la invención, la placa de guía comprende además un indicador de luz asociado a cada abertura en la placa de guía, estando configurado cada indicador de luz para indicar a un usuario del sistema, antes de la inserción de una aguja, en qué abertura se debe insertar dicha aguja y/o, después de la inserción de una aguja, si la aguja ha sido insertada correctamente de acuerdo con un programa previamente planificado, y/o configurada para emitir una señal de luz antes de insertar una aguja y una señal de luz modificada una vez que se ha insertado una
30 aguja, dicha señal de luz modificada que es indicativa de la ubicación correcta o incorrecta de la aguja insertada.

En realizaciones de la invención, el indicador de luz asociado a cada abertura en la placa de guía es al menos un diodo emisor de luz (LED).

35 En realizaciones de la invención, la placa de guía comprende además medios de interfaz para la conexión con otros equipos.

En realizaciones de la invención, la placa de guía está comprendida en un dispositivo de plantilla de braquiterapia.

40 Un aspecto de la divulgación se refiere a una placa de guía, que se puede utilizar en un sistema según la invención, para guiar la inserción de agujas en un cuerpo, la placa de guía que comprende: una pluralidad de aberturas, cada abertura que está configurada para recibir una aguja; en el que al menos algunas aberturas de dicha pluralidad de aberturas tienen un detector respectivo asociado, cada detector que comprende un circuito resonante para detectar la presencia de una aguja insertada en una abertura respectiva, estando configurado dicho circuito resonante para
45 modificar su frecuencia de resonancia cuando la aguja está insertada en la abertura; en el que cada detector asociado a una abertura correspondiente está configurado además para medir la profundidad de penetración de una aguja insertada en dicha abertura siguiendo los cambios en la frecuencia de resonancia de dicho detector producidos cuando se inserta una sonda a lo largo de la aguja insertada a su vez en dicha abertura.

50 En realizaciones de la invención, la placa de guía comprende además un indicador de luz asociado a cada abertura en la placa de guía, cada indicador de luz que está configurado para indicar a un usuario del sistema, antes de la inserción de una aguja, en qué abertura se debe insertar dicha aguja y, después de la inserción de una aguja, si la aguja se ha insertado correctamente de acuerdo con un programa previamente planificado.

55 En el presente documento también se desvela un dispositivo de plantilla de braquiterapia que se puede usar en un sistema según la invención, que comprende la placa de guía de las realizaciones de la invención.

60 El sistema de los aspectos de la invención es particularmente aplicable para su uso en braquiterapia como es evidente a partir de la presente descripción. Sin embargo, debe apreciarse que la invención también encontrará aplicación junto con otros tratamientos terapéuticos, tales como posicionar otras fuentes de tratamiento, realizar biopsias y similares. Además, el dispositivo se puede utilizar para implantar o aplicar diferentes fuentes radiactivas en varios tejidos diferentes, como tejido mamario, tejido prostático y otros.

65 El sistema de la invención proporciona un control preciso de la posición y penetración de las agujas en un tejido corporal. También proporciona información rápida a la persona que inserta las agujas, de modo que pueda realizar una reacción rápida en caso de una inserción incorrecta. Gracias a este control preciso de la posición y la

penetración, se puede utilizar cualquier forma de placa de guía que tenga cualquier disposición de aberturas, en lugar de las matrices x-y convencionales que se utilizan tradicionalmente porque se consideran más sencillas para seguir un plan programado. Así, se pueden utilizar disposiciones irregulares o placas de guía de forma irregular, que pueden ser útiles para el tratamiento de determinadas patologías, sin correr el riesgo de cometer errores en la inserción de agujas. Las ventajas y características adicionales de la invención resultarán evidentes a partir de la descripción detallada que sigue y se señalarán particularmente en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

- 10 Para completar la descripción y para facilitar una mejor comprensión de la invención, se proporciona una serie de dibujos. Dichos dibujos forman parte integrante de la descripción e ilustran una realización de la invención, que no debe interpretarse como una restricción del alcance de la invención, sino simplemente como un ejemplo de cómo se puede realizar la invención. Los dibujos comprenden las siguientes figuras:
- 15 Las Figuras 1A y 1B muestran vistas de dispositivos de plantilla o rejilla de braquiterapia pasiva convencionales que se utilizan actualmente para guiar la inserción de agujas en el tejido corporal.
Las Figuras 1C y 1D muestran equipos convencionales en los que normalmente se montan los dispositivos de plantilla.
- 20 La Figura 2A muestra una representación de una placa de guía para un sistema de acuerdo con una realización de la presente invención. A la derecha, la placa de guía está esquematizada. A la izquierda se muestra un detalle de una de las aberturas de la placa de guía, que incluye un detector para detectar la presencia de una aguja y para determinar la profundidad de penetración de la aguja en el cuerpo.
La Figura 2B muestra esquemáticamente una placa de guía para un sistema de acuerdo con una realización de la presente invención, que incluye electrónica de control para interrogar el estado de cada abertura.
- 25 La Figura 3 muestra una representación esquemática de una sonda para un sistema de acuerdo con una realización de la presente invención, para determinar la profundidad a la que se ha insertado una aguja en un tejido corporal a través de una abertura de una placa de guía según la invención. La figura también muestra (abajo) un gráfico que muestra la frecuencia de resonancia del detector asociado a la abertura en la que se inserta la aguja, medida según se inserta la sonda en la aguja.
- 30 La Figura 4 muestra una representación de una placa de guía para un sistema de acuerdo con una realización de la presente invención. A la derecha, se esquematiza la placa de guía que incluye una pluralidad de indicadores de luz. A la izquierda, se muestra un detalle de una de las aberturas en la placa de guía, que incluye un indicador de luz para indicar la abertura en la que se debe insertar una aguja.
La Figura 5A ilustra el bloque de detección, el bloque de iluminación y el bloque de control de una placa de guía que se puede utilizar en el sistema de acuerdo con una realización de la presente invención.
- 35 La Figura 5B muestra esquemáticamente una placa de guía que se puede usar en el sistema de acuerdo con una realización de la presente invención, que incluye un bloque de detección, un bloque de iluminación y electrónica de control para gestionar el bloque de detección y el bloque de iluminación.
La Figura 6 muestra esquemáticamente un diagrama de bloques que representa el equipo involucrado en la planificación y ejecución de un tratamiento de braquiterapia.
- 40

Descripción de una forma de realizar la invención

- 45 La Figura 2A (derecha) muestra una representación de una placa de guía 22 para un sistema de acuerdo con una realización de la presente invención que puede ser particularmente adecuada para facilitar la inserción de agujas en el tejido corporal con un control preciso de la posición y la profundidad de penetración. La placa de guía 22 incluye una pluralidad de aberturas, aberturas o agujeros pasantes 24 para recibir las agujas y guiarlas hacia la ubicación deseada en el cuerpo. Las agujas que se insertan en las aberturas 24 de la placa de guía 22 suelen ser huecas. Las agujas pueden tener cualquier longitud. La longitud de las agujas puede variar según la aplicación (es decir, patología y tratamiento). Las agujas también pueden tener diferentes calibres. Las aberturas 24 pueden formar una matriz x-y, es decir, las aberturas 24 se extienden en filas orientadas en la dirección x, y en columnas orientadas en la dirección y. Puede haber tantas filas como columnas o una cantidad diferente de filas y columnas. Sin embargo, las aberturas no se limitan a esta disposición x-y; por el contrario, se puede utilizar cualquier otra disposición, por ejemplo una disposición no cartesiana, tal como una disposición aleatoria.
- 50
- 55 Cada abertura está dimensionada para recibir una aguja. La placa de guía se puede usar en combinación con una plantilla pasiva convencional que incluye un marco y un medio de fijación o se puede incrustar integralmente en una plantilla durante su proceso de fabricación. En cualquier caso, el marco de la plantilla y los medios de fijación están fuera del alcance de la presente invención. Por tanto, cada abertura 24 corresponde a una ubicación (en las direcciones x e y cuando las aberturas forman una matriz x-y) sobre una sección transversal de la parte del cuerpo dispuesta sustancialmente en paralelo a la placa de guía 22.
- 60
- Para una terapia correcta, las agujas deben insertarse a través de algunas aberturas 24 de acuerdo con un programa planificado antes de comenzar la inserción de las agujas. Es decir, dependiendo del paciente, la patología y el tratamiento, algunas aberturas estarán ocupadas por una aguja y otras no. Para planificar la terapia, generalmente se utiliza un sistema de planificación (un programa o aplicación de software). El sistema de
- 65

planificación necesita la posición de las agujas para realizar sus cálculos, así como una identificación precisa de todas ellas (dependiendo de la terapia, puede haber más de 20 agujas). El sistema de planificación utiliza un sistema de coordenadas para la identificación espacial de las agujas.

- 5 Por ejemplo, en el caso de la braquiterapia HDR, el tratamiento requiere la colocación de varias agujas huecas dentro y/o en la periferia de un volumen objetivo planificado (PTV, por sus siglas en inglés) del paciente, siguiendo una distribución geométrica que, mediante la inserción de una fuente de radiación a lo largo de la parte interna de las agujas huecas y deteniéndose en las posiciones planificadas y en los tiempos programados, permite administrar la dosis prescrita con una distribución de dosis lo más homogénea y conforme al PTV como sea posible. La
- 10 planificación de este tratamiento puede ser la siguiente: En primer lugar, se obtienen imágenes del paciente, a partir de las cuales un médico delimita el PTV. Luego, se puede realizar una etapa de planificación previa con un programa informático, que proporciona una distribución óptima de las agujas y sugiere las paradas necesarias de la fuente radiactiva. Esta etapa de planificación previa ocasionalmente se omite según la experiencia del médico. A continuación, se realiza el implante de agujas (siguiendo el patrón obtenido en la etapa de preplanificación si se ha realizado; el patrón indica en qué parte de la placa de guía hay que implantar las agujas y a qué profundidad; se
- 15 remarca que no todas las aberturas en la placa de guía reciben una aguja). Luego, se obtienen imágenes del paciente después de la inserción de las agujas, porque a menudo hay pequeñas discrepancias entre el objetivo teórico y lo que realmente se logra. A continuación, se realiza el cálculo definitivo de la dosis. Ocasionalmente también se puede volver a calcular la posición de algunas agujas, en cuyo caso se vuelve a realizar la verificación mediante la obtención de imágenes. Finalmente, comienza el tratamiento, habitualmente al encender un equipo para
- 20 dosis retardada, como un robot. La Figura 6 muestra esquemáticamente el equipo que normalmente participa en la planificación y ejecución de un tratamiento de braquiterapia. Como se puede observar, el sistema de planificación 61 centraliza y controla la ejecución del tratamiento.
- 25 Volviendo a la Figura 2A, para evitar la inserción incorrecta de una aguja en una abertura con respecto al plan programado (es decir, proporcionado por el sistema de planificación), en la placa de guía 22 se implementa un medio de detección de la aguja, también denominado bloque de detección o capa de detección. Los medios de detección incluyen una serie de detectores. Hay un detector por abertura 24 en la placa de guía 22. La Figura 2A (izquierda) muestra en detalle una parte de la placa de guía 22 de la Figura 2A (derecha). En particular, en la Figura
- 30 2A (izquierda) se muestra una parte de la placa de guía que incluye una de las aberturas 24 de la placa de guía 22 y un detector 25 asociado a la abertura 24 (o comprendido sustancialmente en la abertura). Se ha insertado una parte de la aguja 29 a través de la abertura 24 ilustrada. Cada detector, como el detector 25 asociado a la abertura 24 como se muestra en la Figura 2A (izquierda), se implementa como un circuito resonante dispuesto en cada abertura 24. Cada detector 25 no obstruye ni evita el paso de una aguja 29 a través de la abertura 24. La aguja 29 está hecha de o comprende un material que altera la frecuencia de resonancia f_0 del circuito resonante dispuesto en (asociado a) cada abertura 24. Alternativamente, un elemento o dispositivo que comprende un material que altera la frecuencia de resonancia f_0 del circuito resonante se inserta a lo largo de la aguja hueca, como un elemento simulado, sonda o
- 35 guía como se describe más adelante con referencia a la Figura 3. Este, por ejemplo, es el caso cuando la aguja 29 no está hecha o no comprende dicho material. Por ejemplo, este es el caso de una aguja de plástico. En este caso, para detectar la presencia de la aguja cuando se inserta a través de una abertura, un elemento o dispositivo adicional fabricado o que comprende dicho material debe acompañar a la aguja (por ejemplo, insertando ese dispositivo o elemento a lo largo del cuerpo hueco de la aguja). El material provoca una variación en la frecuencia de resonancia del circuito resonante. Por tanto, la aguja y/o un elemento o dispositivo adicional insertado a lo largo de la aguja, tal como un elemento simulado, una sonda o una guía, deben estar hechos al menos parcialmente de dicho
- 40 material o de una mezcla que incluya dicho material.

En realizaciones de la invención, la aguja 29 es una aguja convencional, es decir, una aguja adecuada para ser insertada en el tejido corporal de un animal (incluido el cuerpo humano). Su superficie exterior es uniforme y lisa. No se realizan patrones ni diseños geométricos en su superficie exterior.

- 50 Al menos uno de los componentes de cada circuito resonante 25 está dispuesto en la proximidad de la abertura 24 correspondiente en la placa de guía 22 de tal manera que su valor nominal se altera cuando la aguja 29 (o una aguja junto con un elemento adicional insertado a lo largo de la aguja hueca) atraviesa la abertura 24. Por lo tanto, la frecuencia de resonancia f_0 del circuito resonante 25 se modifica debido a la presencia de la aguja 29 cuando la
- 55 aguja 29 pasa a través de la abertura 24. Así, la presencia de la aguja 29, hecha de o que comprende un material que varía el campo eléctrico y/o magnético o que tiene un elemento o dispositivo adicional insertado a lo largo de la aguja, como un elemento simulado (es decir, acero simulado) o una sonda o guía como se desvela con referencia a la Figura 3, hecha de o que comprende un material que varía el campo eléctrico y/o magnético, se detecta electrónicamente detectando la modificación en la frecuencia de resonancia f_0 provocada por el campo eléctrico y/o magnético variado. Por tanto, un detector 25 es capaz de detectar la presencia de la aguja cuando hay una que ocupa una abertura 24. En una realización particular, la frecuencia de resonancia f_0 de cada frecuencia de resonancia está en la banda de 3 MHz (megahercios, 10^6 hercios). En realizaciones de la invención, la presencia de una aguja se detecta detectando variaciones en la frecuencia de resonancia de varios kilohercios (kHz), tales como variaciones entre 1 y 50 kHz, o variaciones entre 1 y 30 kHz, o variaciones entre 2 y 20 kHz, o variaciones entre 5 y
- 60 20 kHz.

En realizaciones de la invención, la aguja 29 está hecha de o comprende un material que altera la frecuencia de resonancia f_0 del circuito resonante, y también se inserta a lo largo de la aguja un elemento o dispositivo adicional que comprende dicho material (por ejemplo, un elemento simulado, sonda o guía). Por tanto, se mejora el efecto del material con respecto a la frecuencia de resonancia f_0 del circuito resonante.

En la realización mostrada en la Figura 2A (izquierda), el detector 25 implementado como circuito resonante está compuesto por una bobina 27 y un elemento capacitivo 26. En este caso, el material comprendido en la aguja 29 o en un elemento adicional insertado a lo largo de la aguja, provoca una variación en la inductancia de la bobina 27 cuando ese material pasa por la abertura 24 y a lo largo del eje longitudinal definido por la bobina 27. Por ejemplo, provoca un aumento en la inductancia de la bobina 27. En este caso, el material debe ser un material magnético, por ejemplo, un material ferromagnético. Ejemplos no limitantes de materiales magnéticos que pueden usarse son ferritas, hierro, acero y sus mezclas. La bobina 27 preferiblemente rodea la abertura 24, mientras que el elemento capacitivo 26 asociado a esa abertura preferiblemente tiene un valor fijo. En esta realización particular, la bobina 27 se obtiene enrollando un cable de material conductor alrededor de la abertura 24, de tal manera que la parte interior de la bobina coincida con la abertura 24, de forma que una aguja 29 insertada en la abertura 24 actúa como núcleo magnético de la bobina, modificando así el valor de inductancia del cable enrollado o bobina y, por tanto, la frecuencia de resonancia f_0 del detector. Un ejemplo no limitado de un material del que se puede fabricar el cable es el cobre, pero en su lugar se puede utilizar cualquier otro material conductor. Así, la aguja 29 hecha de o que comprende un material magnético y/o que tiene un elemento o dispositivo adicional insertado a lo largo de su tubo interior, que comprende un material magnético, actúa como núcleo magnético, permitiendo así un mejor acoplamiento del campo magnético.

En realizaciones en las que la frecuencia de resonancia f_0 de cada circuito resonante está en la banda de 3 MHz, esto se puede implementar con un elemento capacitivo de alrededor de 330 pF (picofaradios, 10^{-12} faradios) y una bobina de alrededor de 7,4 μ H (microhenrios, 10^{-6} henrios).

En realizaciones de la invención, hay tantos circuitos resonantes 25 como aberturas 24 en la placa de guía 22. Por ejemplo, cada circuito resonante 25 (o detector 25) comprende una bobina 27 y un elemento capacitivo 26.

En realizaciones de la invención el circuito resonante 25 de una o más aberturas 24 puede implementarse de manera diferente, por ejemplo mediante la combinación de una o más resistencias, condensadores y/o inductores, siendo al menos uno de ellos sensible al material insertado. Por ejemplo, el circuito resonante puede implementarse mediante un inductor de valor nominal fijo y un condensador que comprende dos placas conductoras (hechas de, por ejemplo, pero no limitado a, cobre o aluminio) espaciadas por un medio dieléctrico (hecho de, por ejemplo, pero no limitado a, aire, plástico o cerámica) dispuestos o configurados para volverse paralelos a la aguja una vez que la aguja ha sido insertada a través de la abertura. En este caso, el material comprendido en la aguja 29 o en un elemento adicional insertado a lo largo de la aguja, provoca una variación en la capacitancia del condensador cuando ese material pasa por la abertura 24 debido a que el campo eléctrico entre las dos placas conductoras del condensador ha sido modificado. En este caso, el material debe ser un material conductor o un material dieléctrico. Los ejemplos no limitantes de materiales que pueden usarse son plástico, cerámica y sus mezclas.

Aunque por simplicidad de diseño e implementación el conjunto de detectores está hecho de circuitos resonantes similares, un experto en la técnica entenderá que la placa de guía alternativamente puede incluir diferentes circuitos resonantes, por ejemplo, los detectores asociados a algunas aberturas pueden implementarse por medios de una bobina que rodea la abertura y un elemento capacitivo fijo, mientras que los detectores asociados a algunas otras aberturas pueden implementarse de manera diferente.

En una realización particular, al menos uno de los componentes que forman el circuito resonante 25 está dispuesto en un lado de la placa de guía 22, mientras que al menos uno de los componentes que forman el circuito resonante 25 está dispuesto en el otro lado de la misma. En particular, con referencia a la Figura 2A (izquierda), la bobina 27 está dispuesta en un lado de la placa de guía 22, mientras que el elemento capacitivo fijo está dispuesto en el otro lado de la misma. En otras realizaciones de la invención, sin embargo, los dos o más componentes que forman el circuito resonante pueden estar dispuestos en el mismo lado de la placa de guía.

Los circuitos resonantes de los medios de detección se disponen siguiendo la disposición de la matriz de aberturas 24 de la placa de guía 22. Como se ha dicho, hay un circuito resonante por abertura. Es decir, cuando la matriz de aberturas sigue una disposición x-y, los circuitos resonantes también forman una matriz x-y, similar a la matriz de aberturas 24 en la placa de guía 22, es decir, los circuitos resonantes se extienden en filas orientadas en el en la dirección x, y en columnas orientadas en la dirección y.

La placa de guía 22 también incluye electrónica de control, no mostrada en la Figura 2A, para interrogar los circuitos resonantes, es decir, para comprobar la frecuencia de resonancia de cada circuito resonante, comprobando así si hay una aguja insertada en una abertura. Cada circuito resonante (por tanto, cada abertura) se comprueba individualmente, aunque se puede interrogar simultáneamente un grupo de circuitos (aberturas). La Figura 2B muestra esquemáticamente una placa de guía 22 que incluye electrónica de control 28 para interrogar el estado de cada abertura 24. Los circuitos resonantes están conectados a la electrónica de control 28 para que la electrónica de

control 28 interroga a cada circuito resonante. La electrónica de control 28 comprende medios de procesamiento, tales como un procesador o microprocesador, para realizar la interrogación de los circuitos resonantes. La conexión o interconexión de cada circuito resonante con la electrónica de control 28 se puede realizar de diferentes formas. Por ejemplo, cada circuito resonante se puede conectar individualmente a la electrónica de control 28, de tal manera que se realiza la interrogación individual de cada circuito resonante. O los circuitos resonantes pueden agruparse de diferentes formas, realizando así una interrogación secuencial o paralela de los circuitos resonantes.

En una realización particular, en la que para simplificar el enrutamiento de trayectorias se usa una configuración de enrutamiento fila-columna para aislar los dos terminales de cada circuito resonante, la interrogación de los circuitos resonantes se realiza secuencialmente. Esto se hace de la siguiente manera: La fila-columna de cada uno de los dos terminales del circuito resonante está aislada y conectada a un circuito integrado. Este circuito integrado mide la frecuencia a la que resuena el circuito resonante conectado al circuito integrado. Una vez obtenida esta medida, se interroga a un circuito posterior hasta que se interroga a toda la matriz.

Hasta ahora, se ha explicado cómo el conjunto de detectores 25 permite determinar la presencia o la ausencia de una aguja en cada una de las aberturas 24 de la placa de guía 22. En otras palabras, los detectores 25 proporcionan la posición de las agujas insertadas en el tejido corporal. Además, cada detector 25 puede usarse para medir la profundidad de penetración de la aguja insertada en la abertura asociada a ese detector, si la hubiera. Esto se puede hacer como se explica a continuación. Para determinar la profundidad a la que se ha introducido una aguja en el tejido corporal, se puede introducir una sonda 31 a lo largo de la aguja hueca. La Figura 3 (arriba) muestra una representación de una sonda o guía 31 para un sistema de acuerdo con una realización de la presente invención que puede ser particularmente adecuada para determinar la profundidad a la que se ha insertado una aguja en un tejido corporal por medio de una placa de guía según la invención. A medida que la sonda codificada o la guía codificada 31 se desliza a lo largo de la aguja hueca, la sonda 31 influye en el circuito resonante del detector 25 asociado a la abertura en la que se ha insertado la aguja, modificando así la frecuencia de resonancia f_0 del detector correspondiente. La sonda 31 es una sonda codificada. En la realización mostrada en la Figura 3 (arriba), la sonda 31 se codifica usando diferentes materiales a lo largo de su longitud, proporcionando así diferentes propiedades dependiendo de la cantidad de sonda insertada en la aguja. Suponiendo que la sonda 31 se inserta en una aguja —a su vez insertada en el tejido corporal por medio de la placa de guía 22 ya descrita—, hasta el extremo distal de la parte interna de la aguja, la frecuencia de resonancia detectada f_0 representa la cantidad de aguja insertada en el tejido corporal. En la realización mostrada en la Figura 3 (arriba), el esquema de codificación se implementa alternando partes de un primer material 32 con partes de un segundo material 33.

En realizaciones de la invención, el primer material es un material que varía el campo eléctrico y/o magnético, y por lo tanto se detecta electrónicamente detectando la modificación en la frecuencia de resonancia f_0 causada por el campo eléctrico y/o magnético variado.

En realizaciones de la invención en las que el circuito resonante se implementa por medio de una bobina 27 y un elemento capacitivo 26 (ver por ejemplo Figura 2A (izquierda)), la sonda 31 se codifica proporcionando diferentes propiedades magnéticas a lo largo de su eje longitudinal. La sonda 31 se codifica utilizando diferentes materiales a lo largo de su longitud, proporcionando así diferentes propiedades magnéticas dependiendo de la cantidad de sonda insertada en la aguja. Suponiendo que la sonda 31 se inserta en una aguja —a su vez insertada en el tejido corporal por medio de la guía placa 22 ya descrita—, hasta el extremo distal de la parte interior de la aguja, la frecuencia de resonancia detectada f_0 representa la cantidad de aguja insertada en el tejido corporal. En esta realización, el primer material 32 es un material ferromagnético y el segundo el material 33 es un material dieléctrico. El primer material 32 proporciona una respuesta ferromagnética sustancial, mientras que el segundo material 33 proporciona una respuesta ferromagnética sustancialmente nula. En otras palabras, el primer material 32 es capaz de modificar la frecuencia de resonancia f_0 del detector asociado a la abertura en la que se inserta la aguja, mientras que el segundo material 33 no modifica la frecuencia de resonancia f_0 de ese detector. Ejemplos no limitantes de material ferromagnético usado para implementar el primer material 32 son: ferrita, hierro, acero quirúrgico (acero biocompatible) y sus mezclas. Ejemplos no limitantes de material 33 no ferromagnético usado para implementar el segundo material son: plástico, cerámica, algunos metales, como aluminio o cobre, y sus combinaciones.

La Figura 3 (abajo) presenta un gráfico que muestra la frecuencia de resonancia f_0 del detector asociado a la abertura de la placa de guía en la que se inserta una aguja, medida según se inserta la sonda 31 en la aguja (es decir, la frecuencia de resonancia se mide en el detector mientras la sonda se desliza a lo largo del tubo hueco de la aguja). Cuando una parte del material 32 que proporciona una respuesta ferromagnética pasa a través o a lo largo del detector, se registra un cambio en la frecuencia de resonancia del detector, mientras que cuando una parte del material 33 que no proporciona una respuesta ferromagnética pasa a través o a lo largo del detector (ver por ejemplo el detector 25 en la Figura 2A (izquierda)), no se registra ningún cambio en la frecuencia de resonancia del detector con respecto a la frecuencia de resonancia ya modificada por la aguja (asumiendo que la aguja está hecha de o comprende un material ferromagnético). Se observa que la frecuencia de resonancia del detector ya se ha modificado ligeramente al insertar la aguja en la abertura si la aguja está hecha de o comprende un material ferromagnético, o al insertar un elemento adicional (es decir, un elemento simulado) que tiene material ferromagnético a lo largo de la aguja, o por ambos. Por tanto, contando la cantidad de transiciones y aplicando una conversión en unidades de longitud (por ejemplo, milímetros o micrómetros (micrones)), se calcula la longitud de la

aguja que se ha insertado en el tejido corporal.

En realizaciones de la invención, la sonda o guía 31 tiene una superficie exterior sustancialmente uniforme y lisa. Por ejemplo, la sonda o guía 31 puede tener la forma de un cilindro, ya sea hueco o macizo. El cilindro puede estar hecho de diferentes materiales como ya se ha indicado.

En una realización particular, la sonda 31 está hecha de secciones o partes equidistantes de materiales ferromagnéticos y dieléctricos 32, 33, como se muestra en la Figura 3 (arriba). En una realización particular, cada porción tiene una longitud que varía entre 0,2 y 20 mm, preferiblemente entre 0,5 y 10 mm, más preferiblemente entre 1 y 5 mm. Debido a que las partes de diferentes materiales tienen la misma longitud y son alternas (ferromagnéticas, dieléctricas, ferromagnéticas, dieléctricas,...), la introducción de la sonda 31 en la aguja y su deslizamiento a lo largo de la aguja crea un tren de pulsos periódico 35, como se muestra en la Figura 3 (abajo). Multiplicando el número de pulsos por la longitud de cada sección o porción de la sonda 31, se puede calcular la longitud de la sonda 31 que ha cruzado el detector 25.

Por ejemplo, para una aguja, hecha de acero, insertada en la posición ($x = 5$, $y = C$), su frecuencia de resonancia medida es $f_{1_5C} = 3,212$ MHz, mientras que la frecuencia de la siguiente posición (sin aguja) es $f_{0_5C} = 3,206$ MHz. En una etapa siguiente, cuando una sonda codificada 31 hecha de partes alternas de polvo de ferrita y plástico se desliza a través de la aguja hasta su extremo, la frecuencia de resonancia varía de $f_{1_5C} = 3,212$ MHz a $f_{2_5C} = 3,219$ MHz cuando una porción de la sonda que tiene un material que proporciona una respuesta ferromagnética (polvo de ferrita) pasa a lo largo del eje longitudinal de la bobina, y la frecuencia de resonancia vuelve a ser $f_{1_5C} = 3,212$ MHz cuando una parte de la sonda que tiene un material que no proporciona una respuesta ferromagnética (plástico) pasa a lo largo del eje longitudinal de la bobina. Contando la cantidad de transiciones de f_{1_5C} a f_{2_5C} , se puede evaluar la cuantificación de la profundidad de penetración. La sonda 31 solo se inserta en la aguja para evaluar su profundidad. La sonda 31 se puede sacar entonces de la aguja hueca. Entonces, analizando la secuencia de cambios en la frecuencia de resonancia obtenida deslizando la sonda 31, se obtiene la cantidad de sonda 31 insertada en la aguja. Por tanto, se obtiene la distancia entre el extremo distal de la aguja y el detector.

Con respecto a la detección de la presencia de una aguja, si por ejemplo se inserta un acero simulado a través de la aguja ya insertada en posición ($x = 5$, $y = C$), su frecuencia de resonancia pasa a ser $f'_{1_5C} = 3,221$ MHz, haciendo el proceso de detección más sencillo (más preciso) porque 3,221 MHz difiere de 3,206 MHz en 15 KHz, mientras que 3,212 MHz difiere de 3,206 MHz solo en 6 KHz.

La sonda o guía codificada 31 puede insertarse en la aguja antes de la inserción de la aguja a través de una abertura, en cuyo caso tanto la aguja como la sonda codificada se insertan simultáneamente a través de la abertura. La variación en la frecuencia de resonancia se puede rastrear correctamente. Sin embargo, en realizaciones preferidas, la aguja se inserta primero a través de la abertura (y se introduce en el tejido) y luego se inserta la sonda codificada a lo largo de la aguja hueca y hasta el extremo de la aguja, que ya se ha fijado al tejido. Por tanto, se calcula correctamente la estimación de la profundidad de la aguja. Este procedimiento evita el movimiento no deseado (e indetectable) de la sonda dentro de la aguja mientras la aguja se introduce en el tejido, por ejemplo. Este procedimiento proporciona la ventaja adicional de verificar dos veces las variaciones en la frecuencia de resonancia cuando la sonda codificada se retira de la aguja, porque se rastreará sustancialmente la misma secuencia de frecuencias resonantes, verificando así la profundidad de penetración y mejorando la precisión de la estimación.

A continuación, se desvela otra realización del sistema de la invención, con referencia a la Figura 4, en la que la placa de guía permite ayudar a la persona que inserta las agujas con una guía visual en el área de inserción para aumentar aún más el control preciso del posicionamiento de la aguja y la prevención de errores humanos. La placa de guía que proporciona esta guía visual se puede realizar en combinación con la realización descrita con referencia a las Figuras 2A, 2B y 3 o con independencia de esa realización. Por tanto, las características descritas en relación con las Figuras 2A, 2B y 3 anteriores pueden estar comprendidas en realizaciones que tienen las características adicionales descritas en relación con la Figura 4.

La Figura 4 (derecha) muestra una representación de una placa de guía 42 para un sistema de acuerdo con una realización de la presente invención que puede ser particularmente adecuada para facilitar la inserción de agujas en el tejido corporal con un mayor control de la posición y la prevención de errores humanos. Todas las características de la placa de guía 22 desveladas con respecto a las Figuras 2A-2B pueden aplicarse también a la placa de guía mostrada en la Figura 4.

Como ya se ha desvelado, para una terapia correcta, las agujas deben insertarse a través de algunas aberturas 24 de acuerdo con un programa planificado antes de comenzar la terapia y, por lo tanto, antes de la inserción de las agujas. Aunque la posición de las agujas insertadas se detecta por medio de los detectores ya descritos y, por lo tanto, se detecta la presencia de una aguja incorrecta y/o se detecta la ausencia de una aguja requerida, es deseable que la persona que inserta las agujas no cometa un error al insertar las agujas, para no lastimar o molestar al paciente o para no retrasar la terapia. Para evitar la inserción incorrecta de una aguja en una abertura debido a una identificación incorrecta en la placa o plantilla real de la abertura diana como se indica en el programa planificado, se implementa un medio de iluminación (también denominado bloque de iluminación o capa de

iluminación) en la placa de guía 42. Los medios de iluminación proporcionan a la persona que inserta las agujas en la placa de guía 42 con información en tiempo real. Los medios de iluminación muestran la abertura o aberturas en la placa de guía 42 a través de la cual se debe insertar una aguja. Los medios de iluminación proporcionan una serie de indicadores de luz 45. Cada indicador de luz 45 está configurado para proporcionar una señal de luz visible por una persona que se encuentra en las proximidades de la placa de guía 42. La señal de luz emitida por cada indicador de luz 45 puede ser visible para una persona situada con respecto a la placa 42 a una distancia igual o inferior a 10 metros. Hay un indicador de luz 45 por abertura 24 en la placa de guía 42. Todas las aberturas tienen un indicador de luz asociado. Es decir, cuando la matriz de aberturas 24 en la placa de guía 42 forma una disposición x-y, los indicadores de luz 45 también forman una matriz x-y, es decir, los indicadores de luz 45 se extienden en filas orientadas en la dirección x, y en columnas orientadas en la dirección y.

La Figura 4 (izquierda) muestra en detalle una parte de la placa de guía 42 de la Figura 4 (derecha). En particular, en la Figura 4 (izquierda) se muestra una parte de la placa de guía que incluye una de las aberturas 44 de la placa de guía 42. Se ha insertado una parte de la aguja 29 a través de la abertura ilustrada 44. Cada indicador de luz 45, tal como el indicador de luz 45 asociado a la abertura 44 como se muestra en la Figura 4 (izquierda), puede implementarse como un piloto de luz junto a cada abertura 44 o dentro de la abertura, siempre que la luz emitida sea perceptible desde dicha distancia a la que se encuentra una persona que inserta agujas. En una realización particular, los indicadores de luz 45 son una pluralidad de diodos emisores de luz (LED), cada LED que está dispuesto junto a una abertura 44 correspondiente. Al menos un LED está asociado a una abertura. Todas las aberturas tienen al menos un LED asociado a las mismas. En otra realización, los indicadores de luz pueden implementarse como una pluralidad de tubos transparentes, cada uno de ellos dispuesto dentro de la abertura correspondiente. En este caso, por ejemplo, se puede colocar un LED en un lado de cada tubo transparente, permitiendo que la luz se propague hacia ambos bordes.

En una realización particular, los medios de iluminación se implementan sobre una capa hecha de placa de circuito impreso (PCB, por sus siglas en inglés) dispuesta frente al cuerpo principal que forma la placa de guía 42 y unida o incrustada en el mismo. En realizaciones en las que una placa de guía comprende tanto detectores 25 para determinar la presencia y profundidad de penetración de agujas como indicadores de luz 45 para guiar a la persona que inserta las agujas, los detectores 25 e indicadores de luz 45 pueden disponerse sobre una misma capa de la PCB o en diferentes capas de la misma.

En un ejemplo de uso de los indicadores de luz 45, un indicador de luz asociado a una abertura a través de la cual debe insertarse una aguja de acuerdo con un programa planificado emite una señal luminosa antes de insertar la aguja. Esto se controla, por ejemplo, mediante un equipo de gestión que está fuera del alcance de la presente invención. La señal luminosa puede ser, por ejemplo, una luz verde permanente. Una vez insertada correctamente la aguja en la abertura correspondiente (es decir, la aguja se ha insertado en la abertura indicada en el programa), se modifica la señal luminosa emitida por el indicador de luz, por ejemplo emitiendo una intensidad diferente, o un color diferente, como el amarillo, o una luz intermitente en lugar de una permanente, para indicar al usuario que la aguja se ha insertado correctamente, para que pueda continuar con otras agujas. Si, por el contrario, la aguja no se inserta correctamente en la abertura correspondiente, se modifica la señal luminosa emitida por el indicador de luz, por ejemplo emitiendo un color diferente, como rojo, y/o aumentando la intensidad y/o parpadeando. Por tanto, los indicadores de luz 45 sirven para indicar las aberturas en la placa de guía a través de las cuales deben insertarse las agujas y proporcionar al usuario información sobre la inserción correcta o errónea de las agujas. Por lo tanto, el proceso de inserción de la aguja se acelera mientras se optimiza su corrección.

La placa de guía 42 también incluye electrónica de control, no mostrada en la Figura 4, para gestionar el encendido y apagado de los indicadores de luz. La electrónica de control para los indicadores de luz puede ser similar a la electrónica de control para interrogar el estado de cada abertura, que se muestra en la Figura 2B. En realizaciones de la invención, la electrónica de control comprende medios de procesamiento, como un procesador o un microprocesador. En realizaciones de la invención en las que la placa de guía comprende tanto detectores 25 para determinar la presencia y profundidad de penetración de agujas como indicadores de luz 45 para guiar a la persona que inserta las agujas, la misma electrónica de control puede gestionar o controlar tanto los detectores como los indicadores de luz. Esto se ilustra en la Figura 5A, en la que la electrónica de control 58 se implementa como medio de procesamiento y controla los detectores (en la placa de guía 22) y los indicadores de luz (en la placa de guía 42). Las placas de guía ilustradas 22, 42 pueden implementarse en diferentes capas (por ejemplo, de PCB) o en una misma capa (por ejemplo, una PCB). Ejemplos no limitantes de medios de procesamiento son un microprocesador, un microcontrolador, un procesador de señales digitales o cualquier otro equipo con capacidad de procesamiento. En general, se le puede denominar procesador. La Figura 5B muestra esquemáticamente una placa de guía 52 que incluye electrónica de control 58 para interrogar a los detectores e indicadores de luz de cada abertura 54.

A continuación, se explica un método para insertar agujas en un cuerpo, por ejemplo en relación con un tratamiento médico, tal como una radioterapia, por ejemplo braquiterapia, en relación con las figuras ya desveladas. El método no cae dentro del alcance de la invención.

Primero, se inserta una aguja a lo largo de una de la pluralidad de aberturas 24 de una placa de guía. Asociado con cada abertura, por ejemplo, en la proximidad de cada abertura, hay un detector. El detector comprende un circuito

resonante para detectar la presencia de la aguja una vez que la aguja ha sido insertada en la abertura a la que está asociado el detector. Tras la interrogación activada y el control por la electrónica de control, el detector detecta la frecuencia de resonancia producida cuando se inserta la aguja en la abertura. Hasta el momento, se ha detectado la presencia de una aguja en una abertura. Esta detección se realiza cada vez que se inserta una aguja en una
 5 abertura. Para mejorar la precisión de la detección, y dependiendo del material de la aguja y del tipo de circuito resonante implementado en los detectores, se puede insertar un elemento adicional (tal como un elemento, sonda o guía alargado simulado) a lo largo del tubo hueco de la aguja. Después de que se haya insertado una aguja y por lo tanto se haya detectado su presencia, se inserta una sonda 31 dentro de la aguja y se desliza a lo largo del cuerpo hueco interior de la aguja, hasta el extremo distal de la aguja. La sonda se utiliza para medir, junto con el detector
 10 asociado a la abertura en la que se ha insertado la aguja, a qué profundidad se ha introducido la aguja en el tejido corporal. Mientras se inserta la sonda, se siguen los cambios en la frecuencia de resonancia producidos en el detector por la sonda. Para provocar esos cambios en la frecuencia de resonancia del detector, la sonda 31 tiene a lo largo de su eje longitudinal una pluralidad de partes de un primer material 32 y una pluralidad de partes de un segundo material 33. Las partes del primer material 32 se alternan con partes del segundo material. El primer
 15 material 32 es capaz de modificar la frecuencia de resonancia del detector asociado a la abertura en la que se inserta la aguja, mientras que el segundo material 33 no modifica la frecuencia de resonancia del detector. Entonces, al analizar la secuencia de cambios registrados en la frecuencia de resonancia a medida que la sonda avanza, se determina la profundidad de penetración de la aguja. Si las partes alternas del primer material 32 y el segundo material 33 tienen la misma longitud, la penetración total de la aguja en el tejido corporal se puede calcular
 20 fácilmente.

El método también comprende una etapa para indicar al usuario, antes de la inserción de una aguja, en qué abertura debe insertarse dicha aguja y, después de la inserción de una aguja, si la aguja se ha insertado correctamente según un programa previamente planificado. En otras palabras, se puede realizar una verificación visual inmediata
 25 de la corrección de la inserción de la aguja. Esto se realiza mediante un indicador de luz asociado a cada abertura de la placa de guía. El indicador de luz, por ejemplo, emite una señal de luz indicativa de que se debe insertar una aguja en la abertura asociada al indicador de luz. Y cuando se inserta la aguja, la señal luminosa se modifica para que el usuario compruebe si la inserción es correcta o no. Los indicadores de luz son, por ejemplo, LED.

El método es gestionado por una electrónica de control encargada de interrogar a los detectores, ya sea individualmente o en grupos (simultáneamente), y de controlar los indicadores de luz.

Además de controlar o gestionar la detección y penetración de la aguja a través de los circuitos resonantes en el bloque de detección o capa de detección 22 y la iluminación de indicadores de luz en el bloque de iluminación o
 35 capa de iluminación 42, la electrónica de control 28, 58 también proporciona medios de interfaz o medios de conexión con cualquier otro equipo involucrado en la terapia (un ejemplo no limitante de posibles conexiones con otros equipos se muestra esquemáticamente en la Figura 6). Este medio de interfaz puede ser cableado o inalámbrico y está esquematizado en la Figura 5 con el signo de referencia 53. Así, la electrónica de control 58 (bloque de control de la placa de guía) comprende medios de procesamiento que implementan algoritmos de
 40 detección, iluminación, comunicación y gestión con otros equipos involucrados en la terapia. La electrónica de control 58 incluye al menos un medio informático configurado para realizar el control de las diferentes capas o bloques con independencia de la tecnología utilizada para implementar estos bloques. Por ejemplo, parámetros como la frecuencia de resonancia de cada circuito resonante y las variaciones detectadas en la frecuencia de resonancia debido a la presencia de aguja o sonda son transparentes para el usuario. También gestiona los
 45 indicadores de luz. La electrónica de control 58 proporciona así al usuario una indicación de qué agujas se han insertado y a qué profundidad se han insertado dentro del tejido corporal, y si las agujas se han insertado correctamente (es decir, si se han insertado en la abertura correcta). En resumen, proporciona al usuario información instantánea de la detección y profundidad de penetración de las agujas y la iluminación actual asociada a las agujas a insertar y a la inserción correcta/incorrecta de las agujas ya insertadas. En una realización particular,
 50 cada bloque (por ejemplo el bloque de detección 22 y el bloque de iluminación 42) se comunica con otros bloques por medio de un bus digital y la electrónica de control 58 implementa interfaces de comunicación con otros equipos diferentes de la placa de guía. Las interfaces de comunicación son preferiblemente enlaces inalámbricos.

Así, la placa de guía 22, 42 realiza las siguientes funcionalidades por medio de la electrónica de control: Gestión del
 55 modo de funcionamiento de la placa de guía, como detección individual o simultánea de agujas y medición de su profundidad de penetración y cómo la información se retroalimenta a otros procesos o equipos. Gestión de políticas de consulta en los circuitos resonantes (como consultas individuales, consultas secuenciales, consultas adaptativas, etc.). Gestión de indicadores de luz (por ejemplo indicando el estado en el que está funcionando la placa de guía y/o los errores detectados en la ubicación de las agujas). El estado posible puede ser: un LED está iluminando una
 60 abertura esperando la inserción de una aguja; o se ha detectado correctamente la posición de una aguja; o una abertura está esperando la inserción de una sonda para evaluar la profundidad de penetración de una aguja. Gestión e implementación de diferentes protocolos de comunicación utilizados para proporcionar los datos de la placa de guía a otros equipos (por ejemplo a un ordenador para la visualización de control o a una herramienta de planificación dosimétrica).

En realizaciones de la invención, el sistema descrito (al que se hace referencia como 63 en la Figura 6) está

conectado a un sistema auxiliar 62 que mejora su interfaz. El sistema auxiliar 62 comprende un procesador, tal como un ordenador, que ejecuta un software específico que se comunica con el sistema 63 desvelado y exhibe al menos las capacidades de: iluminación selectiva de LED para guiar al personal médico durante la inserción de las agujas, de acuerdo con el plan de dosimetría programado; registrar la posición real en la que se ha detectado la aguja; registrar la profundidad de penetración de cada aguja detectada; comunicar las posiciones reales de las agujas y las profundidades de penetración al software de dosimetría (denominado 64 en la Figura 6) para un posible ajuste del plan de dosimetría.

En este texto, el término "comprende" y sus derivaciones (como "que comprende", etc.) no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deben interpretarse como excluyentes de la posibilidad de que lo descrito y definido pueda incluir otros elementos, etapas, etc. En este texto, los términos "dispositivo" y "nodo" se han utilizado indistintamente; además, los términos "multiplicidad" y "pluralidad" se han utilizado indistintamente. En realizaciones de la invención, el sistema auxiliar 62 puede ser parte del sistema de planificación 61, proporcionando el sistema de planificación 61 la interfaz correspondiente con el sistema de placa de guía 63.

Obviamente, la invención no se limita a las realizaciones específicas descritas en este documento, sino que también abarca cualquier variación que pueda ser considerada por cualquier experto en la técnica (por ejemplo, en lo que respecta a la elección de materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.), dentro del alcance general de la invención tal como se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para insertar agujas en un cuerpo, que comprende:

- 5 una placa de guía (22, 42, 52) que comprende una pluralidad de aberturas (24), estando cada abertura configurada para recibir una aguja para ser insertada en un cuerpo, en donde al menos algunas aberturas de dicha pluralidad de aberturas (24) tienen un respectivo detector (25) asociado al mismo, comprendiendo cada detector (25) un circuito resonante para detectar la presencia de una aguja insertada en una respectiva abertura (24), estando dicho circuito resonante configurado para modificar su frecuencia de resonancia cuando la aguja es
 - 10 insertada en la abertura;
 - estando el sistema caracterizado por que comprende además:
 - una sonda (31) para medir, junto con el detector (25) comprendido en una abertura, la profundidad de penetración de una aguja insertada en dicha abertura (24), estando cada detector (25) configurado para rastrear cambios en su frecuencia de resonancia producidos cuando dicha sonda (31) es insertada a lo largo de la aguja,
 - 15 insertada a su vez en la abertura (24); y
 - electrónica de control (28) para interrogar a cada detector (25) y para determinar la presencia o la ausencia de una aguja en una correspondiente abertura (24) y para determinar la profundidad de penetración de una aguja detectada a partir de dichos cambios seguidos en la frecuencia de resonancia de un detector correspondiente.
- 20 2. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicha sonda (31) comprende a lo largo de su eje longitudinal una pluralidad de partes de un primer material (32) y una pluralidad de partes de un segundo material (33), en donde partes de dicho primer material (32) se alternan con partes de dicho segundo material (33), siendo dicho primer material (32) capaz de modificar la frecuencia de resonancia del detector asociado a la abertura en la que está insertada la aguja, no modificando dicho segundo material (33) la frecuencia de resonancia de dicho detector,
 - 25 determinándose la profundidad de penetración de la aguja contando el número de veces que se modifica la frecuencia de resonancia de dicho detector a medida que la sonda (31) se desliza a lo largo de la aguja hasta que la sonda (31) alcanza el extremo distal de la aguja.
3. El sistema de la reivindicación 2, en el que dicha aguja que debe ser recibida por una abertura (24) comprende
 - 30 dicho primer material (32).
4. El sistema de la reivindicación 2, en el que dicha aguja que debe ser recibida por una abertura (24) está configurada para recibir un elemento o un dispositivo adicionales que comprenden dicho primer material (32)
- 35 5. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 2-4, en el que dicha sonda (31) comprende partes alternas de dicho primer material (32) y dicho segundo material (33), siendo dichas partes de igual longitud.
6. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada circuito resonante comprende una bobina (27) y un elemento capacitivo (26), en donde el valor nominal de dicha bobina (27) o de dicho elemento
 - 40 capacitivo (26) se altera cuando una aguja atraviesa dicha abertura (24).
7. El sistema de la reivindicación 6, en el que el valor nominal de dicha bobina (27) se altera cuando una aguja atraviesa dicha abertura (24), permaneciendo fijo el valor nominal de dicho elemento capacitivo (26).
- 45 8. El sistema de las reivindicaciones 2 y 7, en el que dicho primer material (32) es un material magnético y dicho segundo material (33) es un material sin respuesta magnética.
9. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que dicha placa de guía (22, 42, 52) comprende además un indicador de luz (45) asociado a cada abertura en la placa de guía (22, 42, 52), estando cada indicador de luz (45)
 - 50 configurado para indicar a un usuario del sistema, antes de la inserción de una aguja, en qué abertura debe insertarse dicha aguja y/o, después de la inserción de una aguja, si la aguja ha sido insertada correctamente de acuerdo con un programa previamente planificado, y/o configurado para emitir una señal de luz antes de insertar una aguja y una señal de luz modificada una vez que se ha insertado una aguja, siendo dicha señal de luz modificada indicativa de la ubicación correcta o incorrecta de la aguja insertada.
- 55 10. El sistema de la reivindicación 9, en el que dicho indicador de luz (45) asociado a cada abertura en la placa de guía (22, 42, 52) es al menos un diodo emisor de luz (LED).
11. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que dicha placa de guía (22, 42, 52) comprende además
 - 60 medios de interfaz para la conexión a otro equipo.
12. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que dicha placa de guía (22, 42, 52) está comprendida en un dispositivo de plantilla de braquiterapia.

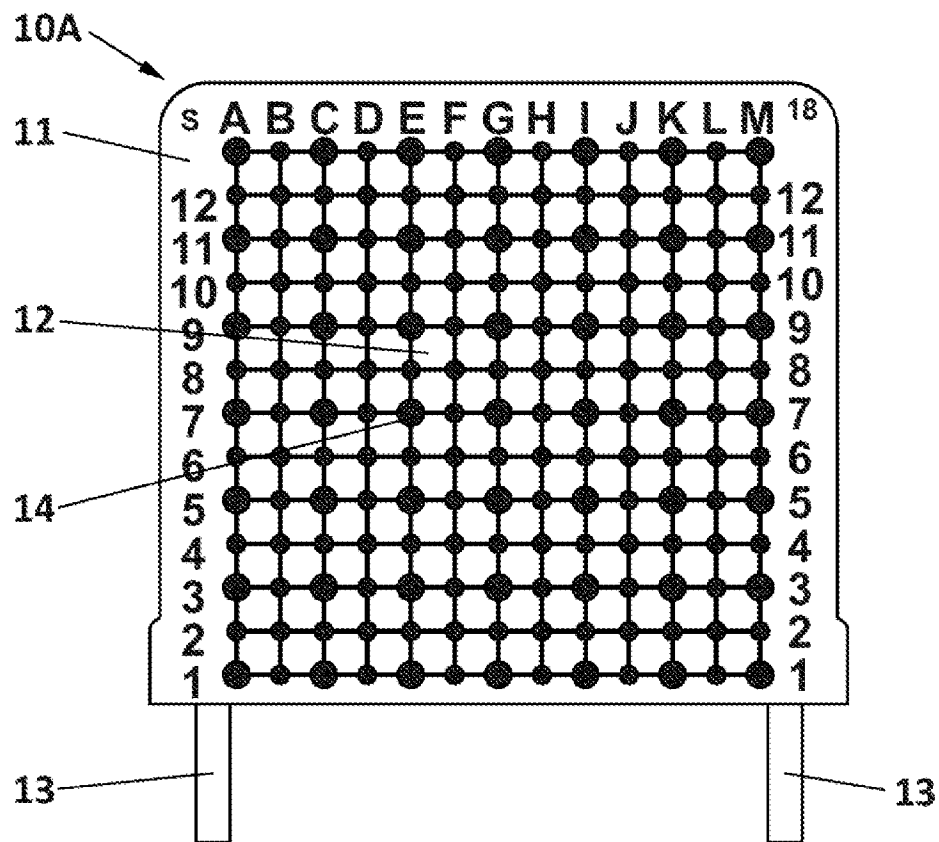


FIG. 1A
(TÉCNICA ANTERIOR)

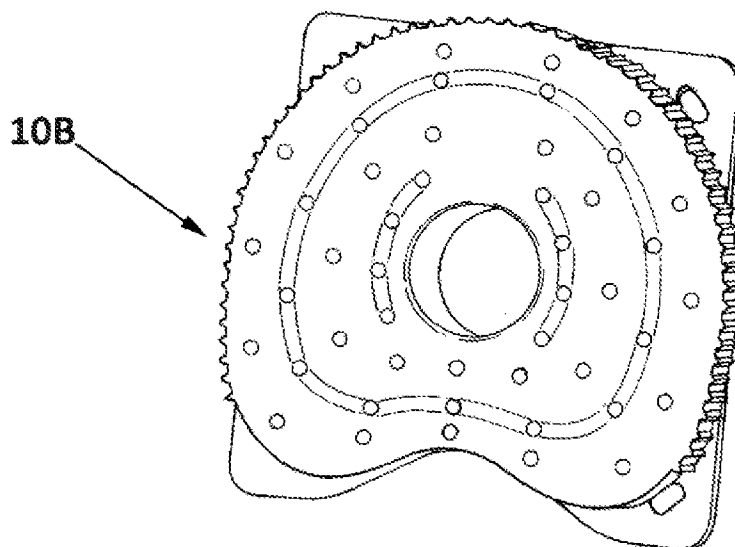


FIG. 1B
(TÉCNICA ANTERIOR)

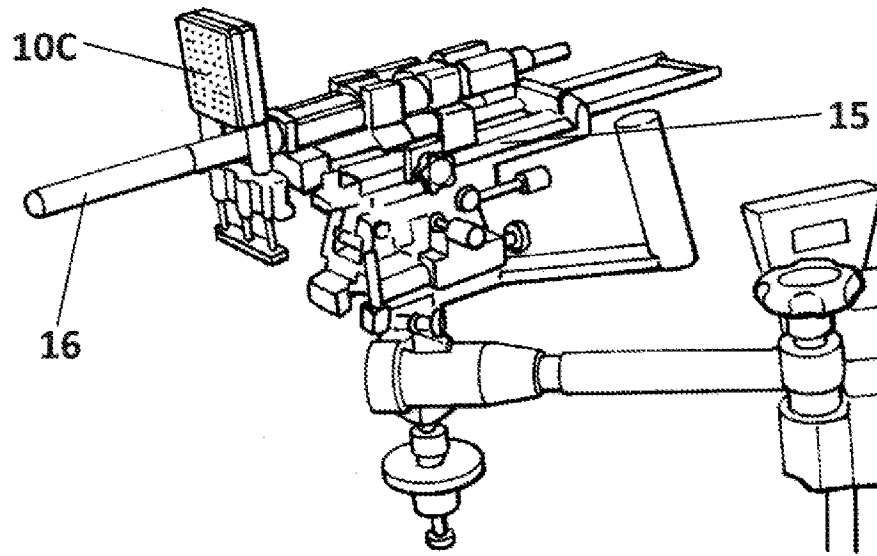


FIG. 1C
(TÉCNICA ANTERIOR)

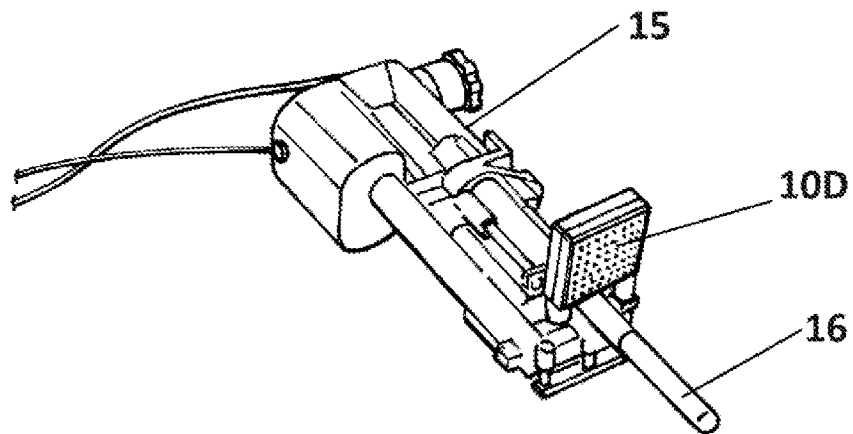


FIG. 1D
(TÉCNICA ANTERIOR)

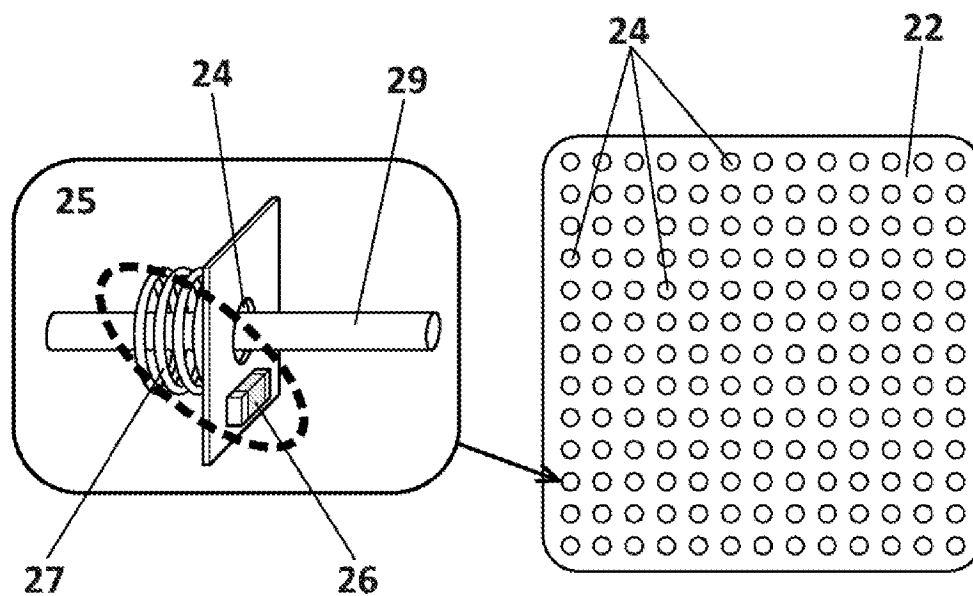


FIG. 2A

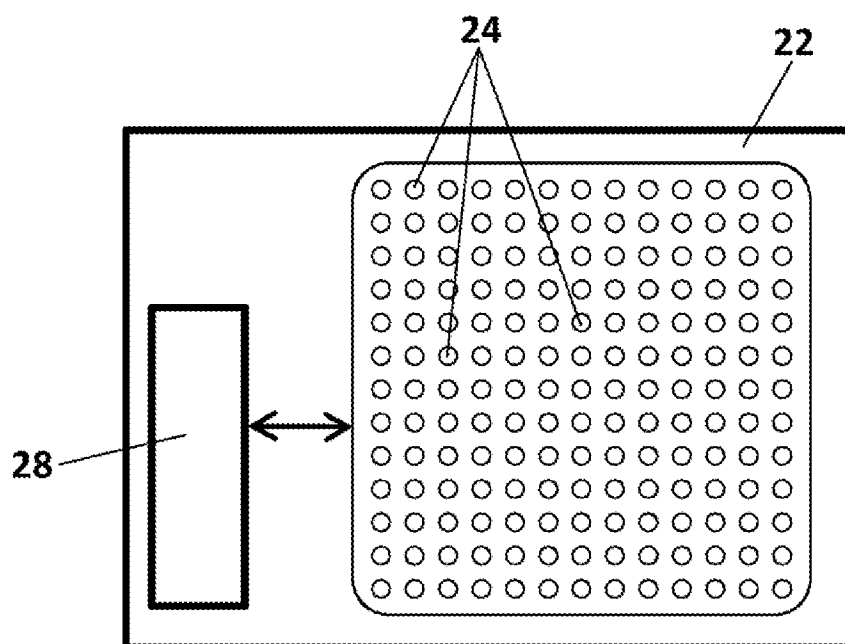


FIG. 2B

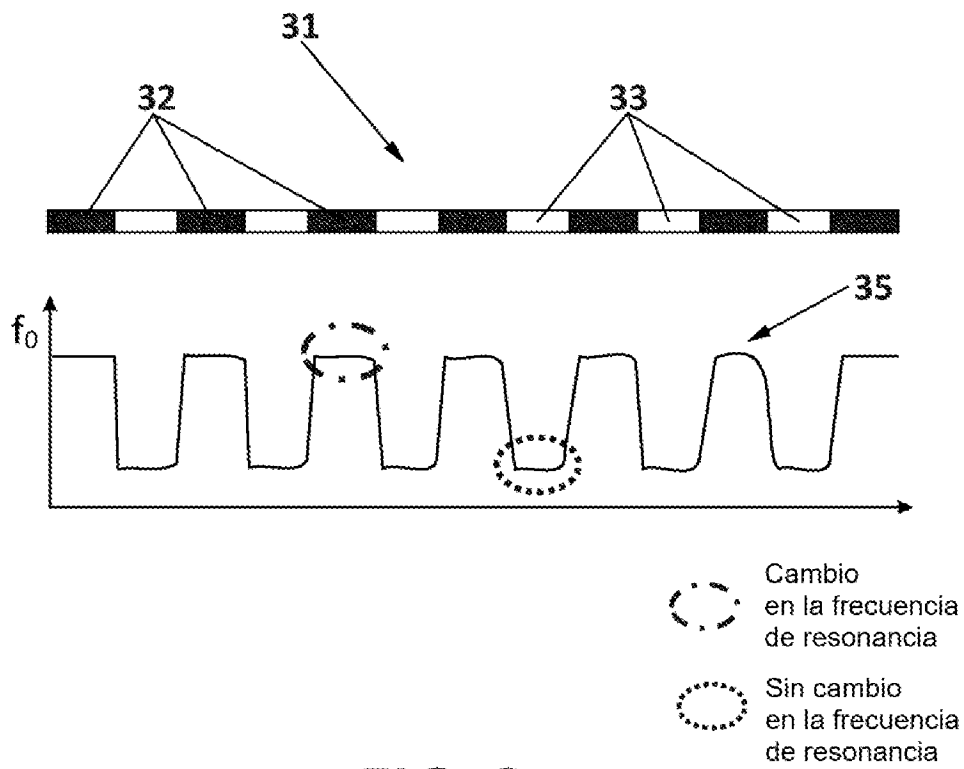


FIG. 3

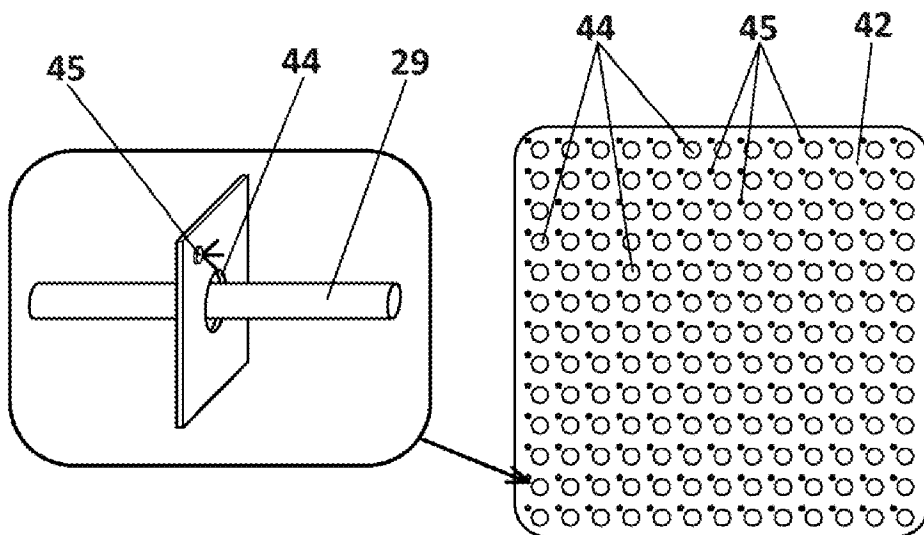


FIG. 4

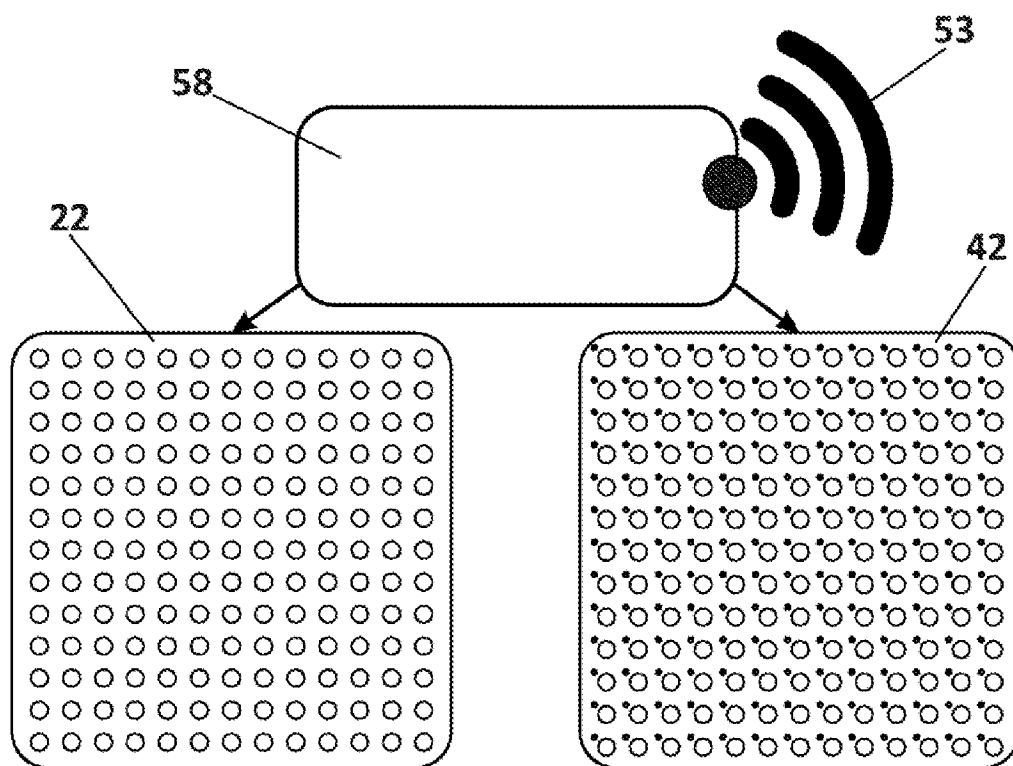


FIG. 5A

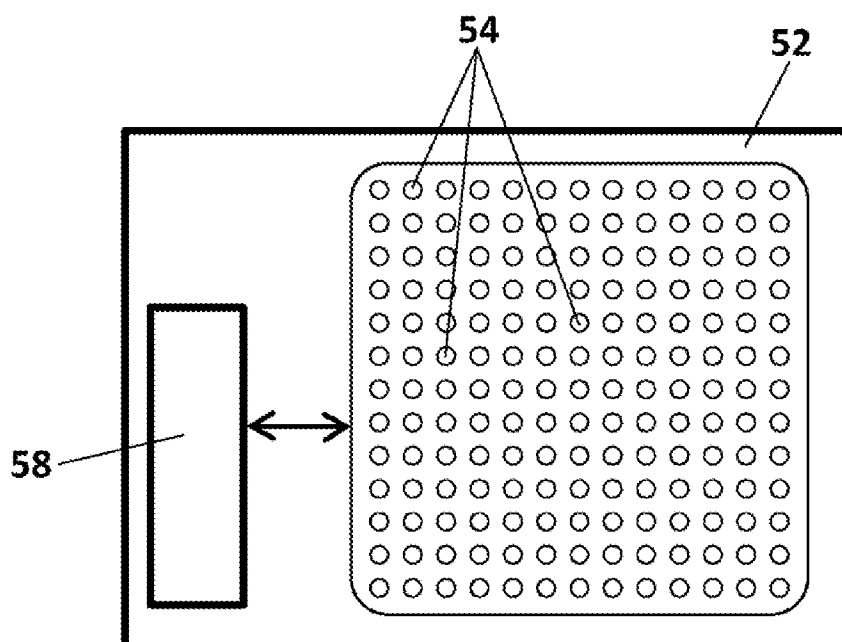


FIG. 5B

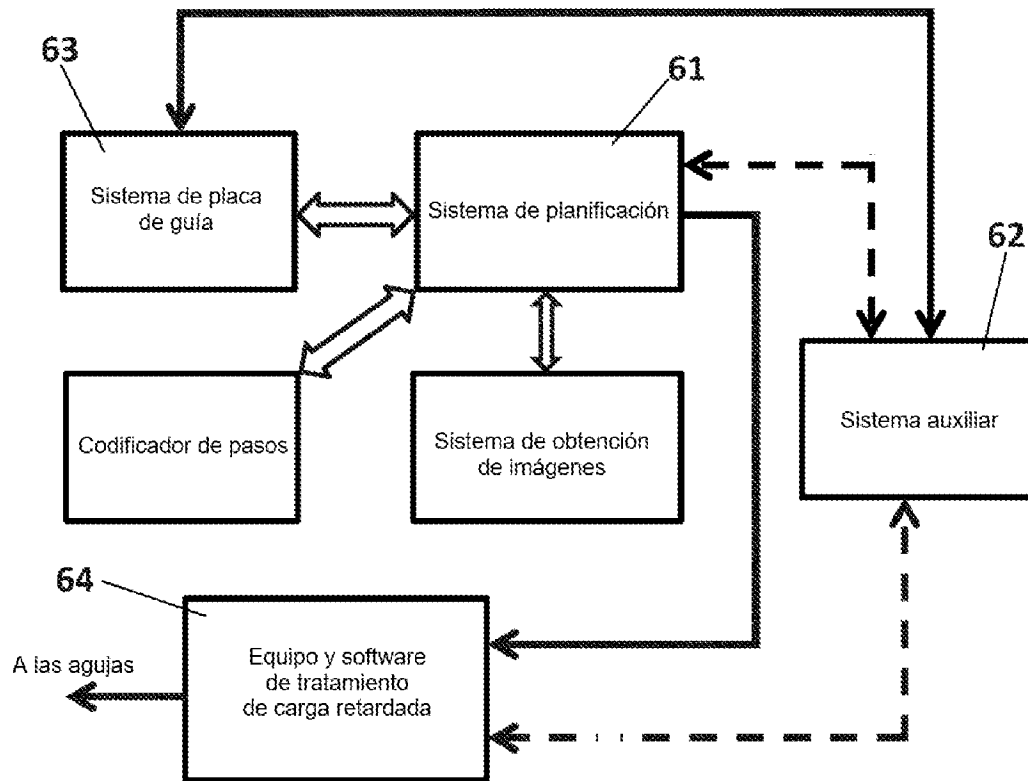


FIG. 6