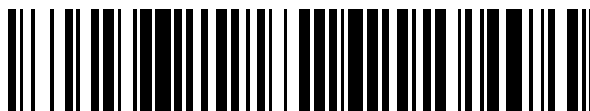


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 739 486**

51 Int. Cl.:

A61B 18/12 (2006.01)
A61B 34/10 (2006.01)
A61B 18/00 (2006.01)
A61B 34/20 (2006.01)
A61B 18/14 (2006.01)
A61B 90/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.11.2016 E 16197331 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2019 EP 3181078**

54 Título: **Buscador de brechas en el aislamiento de venas pulmonares**

30 Prioridad:

06.11.2015 US 201562252109 P
19.09.2016 US 201615268714

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
31.01.2020

73 Titular/es:

BIOSENSE WEBSTER (ISRAEL) LTD. (100.0%)
4 Hatnufa Street
2066717 Yokneam, IL

72 Inventor/es:

IZRAELI, DAVID;
BAR-TAL, MEIR;
SABA, EITAN MOSHE y
LUDWIN, DORON MOSHE

74 Agente/Representante:

IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

ES 2 739 486 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

Buscador de brechas en el aislamiento de venas pulmonares

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

1. Campo de la invención

La presente invención se refiere a instrumentación médica para la ablación de tejidos. Más particularmente, la presente invención se refiere al tratamiento de arritmias cardíacas mediante la ablación en las proximidades de tejido venoso pulmonar.

2. Descripción de la técnica relacionada

Ahora es bien sabido que la fibrilación auricular puede desencadenarse por vías de conducción aberrantes que se originan en haces musculares que se extienden desde la aurícula hasta las venas pulmonares y que la ablación para producir la ablación eléctrica por aislamiento de la vena pulmonar puede mantener el ritmo sinusal.

Los métodos de fuerza de contacto son efectivos para lograr el aislamiento de la vena pulmonar circunferencial. Por ejemplo, la patente de Estados Unidos de cesión común n.º 6.997.924 de Schwartz et al, describe el aislamiento de la vena pulmonar utilizando la emisión de alta energía de la energía de la luz láser. Después del avance transeptal de un catéter al ostium de una vena pulmonar, un globo de anclaje se expande para colocar un espejo cerca del ostium de la vena pulmonar, de manera que la energía de la luz se refleja y se dirige circunferencialmente alrededor del ostium de la vena pulmonar cuando un láser La fuente de luz está energizada. De este modo se produce una lesión de ablación circunferencial, que bloquea efectivamente la propagación eléctrica entre la vena pulmonar y la aurícula izquierda.

Más recientemente, se han empleado catéteres híbridos con sensores de fuerza de contacto y sensores de localización para aislar eléctricamente las venas pulmonares, como el catéter Smart Touch™. Sin embargo, los espacios de conducción residual pueden permanecer en algunos pacientes a pesar de la ablación óptima.

El documento WO 2012/092275 trata un método y un dispositivo para la predicción de un aislamiento exitoso y / o la aparición de formación de espacio en el contacto de las técnicas de ablación por contacto puntual basadas en catéter.

El documento EP 2952151 trata un método que incluye ubicaciones de recepción de múltiples sitios de ablación formados en la superficie de un corazón. Uno o más espacios entre los sitios de ablación, que cumplen con el criterio de alerta, se identifican y se indican a un operador.

SUMARIO DE LA INVENCION

La invención proporciona un aparato de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 5. Las realizaciones preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes. Los métodos descritos en este documento no forman parte de la invención reivindicada, pero se proporcionan para ilustrar el uso previsto del aparato de acuerdo con la invención.

Se proporciona un método, que se lleva a cabo mediante la ablación de una pluralidad de sitios en el corazón de un sujeto vivo, proyectando las ubicaciones de los sitios en un sistema de coordenadas tridimensional en un plano de simulación, identificando un conjunto de tridimensionales más cortos rutas que corresponden a conexiones bidimensionales entre pares de las ubicaciones proyectadas de los sitios, y notifican un espacio como el más largo del conjunto.

Otro aspecto más del método que se lleva a cabo definiendo una fuente y un destino, proyectando la fuente y el destino en el plano de simulación. Las ubicaciones proyectadas de los sitios se encuentran entre la fuente proyectada y el destino proyectado en el plano de simulación. El método también se lleva a cabo mediante la generación aleatoria de rutas bidimensionales en el plano de simulación que se extiende desde la fuente proyectada hasta el destino proyectado, con pasajes entre dos de las ubicaciones proyectadas de los sitios. El método se lleva a cabo además determinando un tamaño mínimo de los pasajes para cada una de las rutas bidimensionales, e informando el tamaño mínimo más grande de las rutas bidimensionales.

En otro aspecto más del método, las ubicaciones proyectadas de los sitios se encuentran en una elipse de mejor ajuste, en donde una parte de las ubicaciones proyectadas de los sitios se encuentran fuera de la elipse. El método se lleva a cabo además al ampliar la elipse para incluir todas las ubicaciones proyectadas de los sitios.

Un aspecto adicional del método se lleva a cabo modelando una parte del corazón como una malla triangular que incluye puntos de ablación, y a partir de los nodos de malla que preparan un gráfico de cuadrícula de nodos gráficos que están conectados por bordes no dirigidos, que representan los puntos de ablación en la cuadrícula gráfico como nodos de gráfico correspondientes del nodo de malla más cercano del mismo, y usando los nodos de gráfico

correspondientes como las ubicaciones proyectadas de los sitios para generar rutas bidimensionales.

También se proporciona un método, que se lleva a cabo mediante la ablación de una pluralidad de sitios en el corazón de un sujeto vivo, y la construcción de un gráfico de árbol de todas las ubicaciones tridimensionales de los sitios. El método también se lleva a cabo mediante la definición de una ruta construida de segmentos más cortos entre pares de sitios, seleccionando una fuente, en la que el gráfico de árbol tiene un bucle que se enrolla alrededor de la fuente, y el bucle describe un espacio entre dos de los sitios de ablación. El método también se lleva a cabo al informar un borde más corto en el gráfico de árbol que puede cerrar el espacio.

Otro aspecto del método incluye seleccionar fuentes adicionales e iterar la etapa de construir un gráfico de árbol usando las fuentes adicionales.

Además, se proporciona un aparato, que incluye una sonda adaptada para su inserción en contacto con un corazón en un cuerpo de un sujeto. La sonda tiene un sensor de ubicación y un electrodo en una parte distal de la sonda, un generador de energía de ablación, un procesador conectado al sensor de ubicación y dispuesto de manera cooperativa con el generador de energía de ablación para la ablación de una pluralidad de sitios en el corazón. El procesador es operativo para proyectar las ubicaciones de los sitios en un plano de simulación, identificando un conjunto de rutas tridimensionales más cortas que corresponden a conexiones bidimensionales entre pares de las ubicaciones proyectadas de los sitios, y notificando un espacio como la más larga de las rutas tridimensionales.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS VARIAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

Para una mejor comprensión de la presente invención, se hace referencia a la descripción detallada de la invención, a modo de ejemplo, que debe leerse junto con los siguientes dibujos, en los que a los elementos similares se les dan números de referencia similares y en donde:

La figura 1 es una ilustración pictórica de un sistema para realizar procedimientos de cateterización en un corazón; La figura 2 es un diagrama de flujo de un método para determinar un espacio en una región ablacionada de tejido; La figura 3 es una ilustración gráfica de un aspecto del método descrito en la figura 2; La figura 4 es un diagrama de flujo de un método para establecer el origen y el destino de una ruta; La figura 5 es un diagrama de flujo de un método para establecer el origen y el destino de una ruta. La figura 6 es un diagrama de flujo de un método de generación de ruta; La figura 7 es un diagrama de flujo de un método para determinar un espacio en una región ablacionada de tejido. La figura 8 ilustra un gráfico ponderado preparado a partir de una malla tridimensional; La figura 9 es un diagrama de flujo detallado de un aspecto del método mostrado en la figura 7; La figura 10 es un diagrama de flujo detallado de un aspecto del método mostrado en la figura 7; La figura 11 es un diagrama de flujo que detalla la generación de una ruta de acuerdo con el método mostrado en la figura 7; La figura 12 es un gráfico ejemplar de sitios de ablación; La figura 13 es un diagrama de flujo de un método de generación de ruta; La figura 14 es un gráfico que ilustra un aspecto del método mostrado en la figura 13; La figura 15 es una gráfica que ilustra otro aspecto del método mostrado en la figura 13; La figura 16 es un gráfico de árbol que resulta de la ejecución de una etapa del método mostrado en la figura 13; La figura 17 es una presentación tridimensional de los puntos correspondientes del gráfico de árbol de la figura 16; La figura 18 es un gráfico de bucle ejemplar que se evalúa en el método que se muestra en la figura 13; La figura 19 es una pantalla de pantalla compuesta que se produjo; y La figura 20 es una pantalla que ilustra múltiples espacios encontrados en una colección de puntos de ablación.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

En la siguiente descripción, se exponen numerosos detalles específicos con el fin de proporcionar una comprensión completa de los diversos principios de la presente invención. Sin embargo, será evidente para un experto en la técnica que no todos estos detalles son necesariamente necesarios para poner en práctica la presente invención. En este caso, los circuitos conocidos, la lógica de control y los detalles de las instrucciones de los programas de ordenador para algoritmos y procesos convencionales no se han mostrado con detalle para no oscurecer innecesariamente los conceptos generales.

Definiciones

Contorno discreto: un conjunto de segmentos geodésicos en un espacio bidimensional curvo que forma una curva cerrada.

Espacio de contorno: el segmento más largo en un contorno discreto.

Vértices del contorno: esferas entre un par de segmentos. Las esferas pueden tener radios finitos.

Longitud del segmento: la distancia euclidiana o geodésica entre los centros de los vértices menos los radios de los vértices.

Aislamiento: una superficie que evita el flujo de corriente desde una fuente a un destino. Si la corriente se propaga en el espacio bidimensional (por ejemplo, un plano o el tejido de una aurícula), el aislamiento es un contorno. Si existen múltiples superficies posibles, se debe definir una prueba de aislamiento para la comparación. Si el obstáculo del flujo de corriente a través de una rendija, es decir, un espacio entre dos vértices disminuye con el ancho del espacio, se podría construir una prueba de aislamiento para que el contorno discreto con el espacio más pequeño se convierta en el aislamiento.

Número de devanado de una curva cerrada: el número de veces que una curva cerrada en un espacio curvo bidimensional se enrolla alrededor de una fuente puntual predefinida.

Ruta de flujo actual: una curva abierta desde una fuente actual a un destino actual.

Intersección de segmento de contorno de ruta: un punto donde un contorno cerrado se cruza con una ruta de flujo actual.

Resumen del sistema

Volviendo ahora a los dibujos, inicialmente se hace referencia a la figura 1, que es una ilustración pictórica de un sistema 10 para evaluar la actividad eléctrica y realizar procedimientos ablativos en un corazón 12 de un sujeto vivo, que está construido y operativo. El sistema comprende un catéter 14, que es insertado por vía percutánea por un operador 16 a través del sistema vascular del paciente en una cámara o estructura vascular del corazón 12. El operador 16, que es típicamente un médico, pone en contacto la punta distal 18 del catéter con la pared del corazón, por ejemplo, en un sitio objetivo de ablación. Se pueden preparar mapas de activación eléctrica, de acuerdo con los métodos descritos en Las patentes de Estados Unidos n.º 6.226.542 y 6.301.496, y en la patente de Estados Unidos de cesión común n.º 6.892.091.

Un producto comercial que incorpora elementos del sistema 10 está disponible como el Sistema CARTO® 3, disponible en Biosense Webster, Inc., 3333 Diamond Canyon Road, Diamond Bar, CA 91765. Este sistema puede ser modificado por los expertos en la técnica para incorporar Los principios de la invención descritos en el presente documento.

Las áreas determinadas como anormales, por ejemplo mediante la evaluación de los mapas de activación eléctrica, pueden eliminarse mediante la aplicación de energía térmica, por ejemplo, mediante la etapa de corriente eléctrica de radiofrecuencia a través de cables en el catéter a uno o más electrodos en la punta distal 18, que Aplicar la energía de radiofrecuencia al miocardio. La energía se absorbe en el tejido y lo calienta hasta un punto (generalmente de unos 60 °C) en el que pierde permanentemente su excitabilidad eléctrica. Cuando tiene éxito, este procedimiento crea lesiones no conductoras en el tejido cardíaco, que interrumpen la vía eléctrica anormal que causa la arritmia. Los principios pueden aplicarse a diferentes cámaras del corazón para diagnosticar y tratar muchas arritmias cardíacas diferentes.

El catéter 14 comprende típicamente un mango 20, que tiene controles adecuados en el mango para permitir al operador 16 dirigir, posicionar y orientar el extremo distal del catéter según se desee para la ablación. Para ayudar al operador 16, la parte distal del catéter 14 contiene típicamente al menos un sensor de posición 21 que proporciona señales a un procesador 22, ubicado en una consola 24. Los sensores de posición 21 pueden ser un sensor magnético o un electrodo para una impedancia sistema de localización basado en, como se enseña en La patente de Estados Unidos n.º 7.536.218, expedida a Govari et al. El procesador 22 puede cumplir varias funciones de procesamiento como se describe a continuación.

La energía de ablación y las señales eléctricas pueden transmitirse desde y hacia el corazón 12 a través de uno o más electrodos de ablación 32 ubicados en o cerca de la punta distal 18 a través de un cable 34 a la consola 24. Las señales de estimulación y otras señales de control pueden transmitirse desde la consola 24 a través del cable 34 y los electrodos 32 al corazón 12. Los electrodos sensores 33, también conectados a la consola 24, están dispuestos entre los electrodos de ablación 32 y tienen conexiones al cable 34.

Las conexiones de cable 35 conectan la consola 24 con los electrodos de superficie del cuerpo 30 y otros componentes de un subsistema de posicionamiento para medir las coordenadas de ubicación y orientación del catéter 14. El procesador 22 u otro procesador (no mostrado) puede ser un elemento del subsistema de posicionamiento. Los electrodos 32 y los electrodos de la superficie del cuerpo 30 se pueden usar para medir la impedancia del tejido en el sitio de ablación como se enseña en la patente de Estados Unidos n.º 7.536.218, expedida a Govari et al. Un sensor de temperatura (no mostrado), típicamente un termopar o termistor, puede montarse en o cerca de cada uno de los electrodos 32.

La consola 24 contiene típicamente uno o más generadores de energía de ablación 25. El catéter 14 puede adaptarse para conducir energía de ablación al corazón usando cualquier técnica de ablación conocida, por ejemplo, energía de

radiofrecuencia, energía de ultrasonido y energía de luz producida por láser. Tales métodos son divulgados en las patentes de Estados Unidos de cesión común n.º 6.814.733, 6.997.924 y 7.156.816.

5 En una realización, el subsistema de posicionamiento comprende una disposición de seguimiento de posición magnética que determina la posición y la orientación del catéter 14 generando campos magnéticos en un volumen de trabajo predefinido y detectando estos campos en el catéter, utilizando bobinas generadoras de campo 28. El subsistema de posicionamiento se describe en la patente de Estados Unidos n.º 7.756.576, y en la patente de Estados Unidos n.º 7.536.218 mencionada anteriormente.

10 Como se ha indicado anteriormente, el catéter 14 está acoplado a la consola 24, lo que permite al operador 16 observar y regular las funciones del catéter 14. La consola 24 incluye un procesador, preferiblemente un ordenador con circuitos de procesamiento de señales apropiados. El procesador está acoplado para controlar un monitor 29. Los circuitos de procesamiento de señales típicamente reciben, amplifican, filtran y digitalizan las señales del catéter 14, incluidas las señales generadas por sensores tales como sensores eléctricos, de temperatura y de fuerza de contacto, y una pluralidad de electrodos de detección de ubicación (no se muestra) ubicado distalmente en el catéter 14. Las señales digitalizadas son recibidas por la consola 24 y el sistema de posicionamiento para calcular la posición y la orientación del catéter 14, y para analizar las señales eléctricas de los electrodos.

20 Para generar mapas electroanatómicos, el procesador 22 típicamente comprende un generador de mapas electroanatómicos, un programa de registro de imágenes, un programa de análisis de imágenes o datos y una interfaz gráfica de usuario configurada para presentar información gráfica en el monitor 29.

Típicamente, el sistema 10 incluye otros elementos, que no se muestran en las figuras por razones de simplicidad. Por ejemplo, el sistema 10 puede incluir un monitor de electrocardiograma (ECG), acoplado para recibir señales de uno o más electrodos de la superficie del cuerpo, para proporcionar una señal de sincronización de ECG a la consola 24. Como se mencionó anteriormente, el sistema 10 también suele incluir un sensor de posición de referencia, ya sea en un parche de referencia aplicado externamente adherido al exterior del cuerpo del sujeto, o en un catéter colocado internamente, que se inserta en el corazón 12 mantenido en una posición fija con relación al corazón 12. Bombas convencionales y se proporcionan líneas para circular líquidos a través del catéter 14 para enfriar el sitio de ablación. El sistema 10 puede recibir datos de imagen de una modalidad de imagen externa, como una unidad de IRM o similar, e incluye procesadores de imagen que el procesador 22 puede incorporar o invocar para generar y mostrar imágenes.

35 Se desea que las lesiones producidas por las aplicaciones formen una línea continua, para bloquear la propagación eléctrica a través del cruce. Los procedimientos descritos a continuación analizan las relaciones entre las lesiones para determinar si existen espacios significativos en la línea. Cabe señalar que los sitios de ablación existen en el espacio tridimensional, pero la presentación en una pantalla representa una proyección de tres dimensiones sobre otra superficie, típicamente un plano bidimensional. La evaluación humana de la pantalla es posible, por ejemplo, mediante inspección repetida con técnicas de rotación de imágenes, pero es tediosa y propensa a errores debido a la superposición de las esferas, por ejemplo, el operador humano podría pasar por alto un espacio, lo que podría ocasionar la recurrencia de la arritmia o incluso el fracaso completo del procedimiento. El desempeño del operador de esta tarea aumenta invariablemente la duración de la sesión de cateterización y, por lo tanto, el riesgo para el paciente y, además, puede limitar el número de pacientes que se pueden evaluar en el laboratorio de cateterización.

45 Un método para registrar información sobre los sitios de ablación es el módulo VisiTag™, que es un componente del sistema CARTO mencionado anteriormente.

A continuación se resumen dos métodos para encontrar el aislamiento, que se presentan con detalle en las realizaciones siguientes.

50 **Primer método**

(a) Generar todas las rutas de flujo de corriente posibles. Dado que esto no es realmente posible, genere de forma aleatoria una gran cantidad de rutas que puedan simular todo el flujo.

55 (b) Para cada ruta, encontrar todos los segmentos que se cruzan y seleccionar el segmento con la longitud de segmento más pequeña. Añadir estos segmentos a una lista de candidatos.

(c) El segmento con la mayor longitud de segmento en la lista es el espacio más grande en el aislamiento.

60 (d) El resto de la curva de aislamiento se puede encontrar mediante la eliminación de curvas que no tienen el espacio más grande y recortar la lista en consecuencia.

Segundo método

65 (a). Encontrar el contorno discreto construido a partir de los segmentos más pequeños que se enrollan alrededor de una fuente solo una vez.

Primera realización

Variante "No hay archivo de mapa"

5 Dado que una onda eléctrica viaja sobre la superficie del tejido, la propagación y la percolación de la onda se pueden simular como un frente de onda unidimensional de propagación aleatoria. La simulación implica una generación aleatoria de rutas múltiples desde la fuente sospechosa (las venas pulmonares) hasta el destino. El destino es un punto en un contorno cerrado que comprende la superficie del tejido y está más allá de todos los sitios de ablación.

10 En otras palabras, la línea de ablación se encuentra entre la fuente y el destino. Cada ruta comprende una serie de etapas desde un punto intermedio hasta el siguiente hasta que se alcanza el destino.

Esta variante no se basa en la existencia de un archivo de mapa que describa la geometría de las aurículas.

15 Comenzando en la fuente, la longitud y la dirección de cada etapa de una ruta se generan aleatoriamente hasta que la ruta llega al destino. La propagación a lo largo de una ruta de este tipo se considera como obstaculizada por el espacio más pequeño entre los sitios de ablación en la ruta. El ancho de este espacio se almacena como el "valor de bloqueo" de la ruta.

20 Si se generan suficientes rutas, todos los espacios plausibles serán recorridos y mapeados. El valor de bloqueo más grande entre las rutas se informa como el tamaño del espacio.

Cada sitio de ablación corresponde a un registro en una base de datos, por ejemplo, el módulo VisiTag antes mencionado. En cada registro se incluyen diversos datos, incluidas las coordenadas tridimensionales del sitio, la fuerza de contacto, la duración de la aplicación de energía y otra información no relevante para esta divulgación.

25

El procedimiento descrito a continuación es particularmente eficaz si el operador proporciona un origen y un destino de las rutas que se generarán. Sin embargo, como se explica a continuación en la discusión de la figura 5, es posible estimar la fuente y el destino automáticamente con un cierto costo de precisión. En los casos en que se proporcionan dimensiones de ablación, se pueden tener en cuenta en los cálculos del espacio.

30

A continuación se hace referencia a la figura 2, que es un diagrama de flujo de un método para determinar un espacio en una región ablacionada de tejido. Las etapas del proceso se muestran en una secuencia lineal particular en este y otros diagramas de flujo del presente documento para mayor claridad de presentación. Sin embargo, será evidente que muchos de ellos se pueden realizar en paralelo, asincrónicamente o en diferentes órdenes. Los expertos en la materia también apreciarán que un proceso podría representarse alternativamente como un número de estados o eventos interrelacionados, por ejemplo, en un diagrama de estado. Además, no todas las etapas del proceso ilustrados pueden ser necesarios para implementar el método. El método se describe en referencia al ejemplo de aislamiento de la vena pulmonar; sin embargo, es aplicable a otros procedimientos de ablación en el corazón.

35

40 En la etapa inicial 37, se cateteriza al sujeto y se realiza una serie de ablaciones en los sitios respectivos, por lo general, el aislamiento de las ablaciones se efectúa mediante una vena pulmonar (PVI). Los datos relevantes para cada sitio de ablación se memorizan como se ha indicado anteriormente. Se le puede presentar al operador una pantalla que ilustra los sitios y los datos relacionados con las ablaciones.

45

A continuación, en la etapa 39, se calculan las distancias de Euler entre todos los pares de sitios de ablación. Se recordará que las coordenadas tridimensionales de los sitios se pueden determinar utilizando el sensor de posición 21 (Fig. 1). Como alternativa, los radios de las lesiones creadas en los sitios pueden predecirse utilizando métodos conocidos y tomarse en consideración para el cálculo de la distancia. Esto, por supuesto, reduce las distancias efectivas entre el par.

50

A continuación, en la etapa 41, se establecen el origen y el destino de las rutas. Las rutas se proyectan en una elipse canónica, cuyos parámetros se obtienen en las variantes de la etapa 41, que se describen a continuación. El plano de la elipse se denomina en el presente documento como un "plano de simulación".

55

A continuación, en la etapa 43, utilizando las coordenadas espaciales tridimensionales de los sitios de ablación, los puntos de ablación se transforman en el plano de simulación. A continuación se hace referencia a la figura 3, que es una ilustración gráfica del procedimiento descrito en la etapa 43. Un subconjunto de puntos de ablación 45 se ilustra para simplificar. La proyección bidimensional de los puntos de ablación 45 aparece como una serie de puntos de ablación transformados 51 que se encuentran dentro de los límites de una elipse 53. Se indican la fuente 55 y el destino 57. Los sitios de aplicación de energía, típicamente energía de radiofrecuencia, están representados por tres categorías codificadas por colores de los puntos de ablación 45, según lo indicado por diferentes patrones sombreados. Si bien en la figura 3 se indican tres categorías para la conveniencia de la presentación, muchas gradaciones pueden tener un código de color y presentarse en un monitor de pantalla adecuado. Las gradaciones pueden indicar niveles de intensidad de potencia. A partir de esta y otra información memorizada relacionada con el sitio de ablación, como la duración de la aplicación de la potencia y la fuerza de contacto, es posible predecir el

60

65

diámetro de las lesiones creadas, por ejemplo, a partir de las enseñanzas de la publicación de solicitud de patente de Estados Unidos de cesión común n.º 20140100563 de Govari et al.

En la etapa 59 (Fig. 2) los puntos 51 se eligen por pares, y se mapean los segmentos de línea definidos por cada par. Por ejemplo, los pares 61, 63, 65 se asignan a los segmentos de línea 67, 69, 71, respectivamente. Las longitudes de los segmentos de línea 67, 69, 71 reflejan las distancias de Euler entre los pares 61, 63, 65.

Volviendo a la figura 2, en la etapa 73 se determina un tamaño de etapa máximo (stepMax). Esto se puede calcular dividiendo la distancia más larga entre los sitios de ablación por un valor configurado por el usuario, por ejemplo, 20. Este valor afecta la convergencia de la simulación.

A continuación, en la etapa 75 se genera una ruta, como se describe a continuación. La etapa 75 se realiza de forma iterativa. Asociado con cada ruta creada por una ejecución de la etapa 75 hay un valor de bloqueo mínimo, es decir, la distancia de Euler de un segmento de línea que conecta dos puntos de ablación y se cruza por la ruta.

A continuación, en la etapa de decisión 77, se determina si se ha alcanzado un criterio de terminación para la iteración de la etapa 75. Por ejemplo, el criterio puede ser un número predeterminado de iteraciones, la expiración de un intervalo de tiempo o una combinación de los mismos. Si la determinación en la etapa de decisión 77 es negativa, entonces el control regresa a la etapa 75.

Si la determinación en la etapa de decisión 77 es afirmativa, entonces el control pasa a la etapa final 79. Se informa que un espacio en los puntos de ablación es la mayor de las longitudes de bloque mínimas encontradas en las rutas generadas en la etapa 75.

A continuación se hace referencia a la figura 4, que es un diagrama de flujo de un método para establecer la fuente y el destino (etapa 41; Fig. 2). Los parámetros de la elipse canónica se obtienen en la etapa inicial 81 utilizando los mínimos cuadrados de los residuos de distancia (medidos desde una posición del sitio obtenida a partir de las ecuaciones de la elipse canónica). Alternativamente, los parámetros pueden obtenerse tomando la descomposición de valor singular de todos los sitios, lo que afecta a los tres radios de un elipsoide que pueden generarse a partir de la elipse canónica. Los dos radios más grandes abarcan un plano. Estas técnicas son conocidas en la técnica y no se tratan con más detalle en este documento.

A continuación, en la etapa 83, un operador determina un punto de origen para una ruta de conducción. El punto de origen se puede elegir utilizando una interfaz gráfica de usuario, por ejemplo, haciendo clic con el mouse en una pantalla.

A continuación, en la etapa 85 se identifica la proyección bidimensional del punto de ablación más cercano al punto de origen elegido en la etapa inicial 81. El uso de este punto minimiza el tiempo de cálculo.

A continuación, en la etapa 87 se define una región de origen en el plano de simulación alrededor del punto de origen como un círculo centrado en el punto de origen y que tiene un radio igual a la distancia desde el punto de origen hasta el punto de ablación identificado en la etapa 85.

A continuación, en la etapa final 89, los otros puntos de ablación se proyectan en el plano de simulación.

A continuación se hace referencia a la figura 5, que es un diagrama de flujo de otro método para realizar la etapa 41 (Fig. 2). En esta variante la fuente y el destino se estiman automáticamente.

En la etapa inicial 91, los sitios de ablación se ajustan en la elipse canónica, que se establece como se describió anteriormente con respecto a la etapa inicial 81 (Fig. 4) para definir el plano de simulación. La elipse de mejor ajuste puede no incluir todos los puntos de ablación, pero debe incluir la mayoría de ellos.

A continuación, en la etapa 93, los puntos de ablación se proyectan en el plano de simulación.

A continuación, en la etapa 95, manteniendo su relación de aspecto constante, la elipse definida y ajustada en la etapa inicial 91 se amplía para incluir todos los puntos de ablación proyectados.

A continuación, en la etapa final 97, la elipse resultante de la etapa 95 se reporta como el destino de las rutas.

A continuación se hace referencia a la figura 6, que es un diagrama de flujo que detalla la generación de la ruta (etapa 75; Fig. 2). En la etapa inicial 99 se genera un número aleatorio adecuadamente limitado. Este número representa un ángulo entre 0 y 360 grados y designa un punto de origen para la ruta en el contorno de la fuente, generalmente un círculo o elipse.

A continuación, en la etapa 101 se establece un valor de bloqueo actual. Esto se inicializa al número real más grande que se puede representar en el procesador.

A continuación, en la etapa 103 se crea una etapa, que tiene una longitud (r) y una dirección (θ) determinadas al azar ($r \sim \text{Uniforme}[0; \text{etapaMax}]$, $\theta \sim \text{Uniforme}[0; 2\pi]$).

- 5 A continuación, en la etapa de decisión 105, se determina si en el plano de simulación (1) la etapa cruza un segmento de línea bidimensional que conecta un par de sitios de ablación proyectados y (2) la distancia de Euler tridimensional entre ese par es menor que el valor de bloqueo actual.

10 Si la determinación en la etapa de decisión 105 es afirmativa, entonces el control pasa a la etapa 107. El valor de bloqueo actual se restablece a la distancia de Euler tridimensional entre el par.

Después de realizar la etapa 107 o si la determinación en la etapa de decisión 105 es negativa, en la etapa de decisión 109 se determina si la ruta ha cruzado la fuente.

- 15 Si la determinación en la etapa de decisión 109 es afirmativa, en la etapa 111 la ruta se refleja en un ángulo (θ_r) según su ángulo de incidencia (θ_i) en la fuente ($\theta_r = \theta_i$). Cuando la fuente es un punto, no se requiere reflexión.

20 Después de realizar la etapa 111 o si la determinación en la etapa de decisión 109 es negativa, en la etapa de decisión 113, se determina si se ha alcanzado el destino. Si la determinación es negativa, entonces el control vuelve a la etapa 103 para crear otra etapa aleatorio.

Si la determinación en la etapa de decisión 113 es afirmativa, entonces el procedimiento termina en la etapa final 115.

Variante de archivo de mapa

25 Esta variante se utiliza cuando existe un archivo de mapa, es decir, un archivo de malla, como un mapa de los atrios. Tales archivos pueden generarse, por ejemplo, usando las enseñanzas de los EE. UU.

30 N.º de publicación de solicitud de patente 20140125653, titulada *Combinando superficies tridimensionales*, la patente de Estados Unidos n.º 9.265.434, titulada *Reconstrucción anatómica rica en características dinámicas desde una nube de puntos* y la publicación de solicitud de patente n.º 20150018698, titulada *Reconstrucción basada en el modelo del corazón a partir de muestras dispersas*, todos los cuales son de cesión común. Los puntos de ablación como se muestra en la figura 3 están disponibles para esta variante.

35 A continuación se hace referencia a la figura 7, que es un diagrama de flujo de un método para determinar un espacio en una región ablacionada de tejido. Los vértices e índices de triángulos se recuperan del archivo de malla en la etapa inicial 117 y se utilizan como nodos gráficos. Los gráficos producidos en esta variante se denominan "gráficos de cuadrícula", por lo que pueden distinguirse de los "gráficos de árbol" y otras configuraciones que se describen en otra parte del presente documento. Mientras que los vértices se definen como una malla en el espacio tridimensional, los
40 nodos se definen en un espacio topológico abstracto.

A continuación, en la etapa 119 se prepara un gráfico de cuadrícula ponderada con nodos y bordes no dirigidos. La gráfica se ponderó de acuerdo con las distancias tridimensionales de Euler entre vértices vecinos.

45 A continuación se hace referencia a la figura 8, que ilustra un gráfico de cuadrícula ponderada 121 preparado de acuerdo con la etapa 119 (Fig. 7) a partir de una malla tridimensional 123. Algunas porciones del gráfico de cuadrícula 121 se denominan subgráficos, por ejemplo, el subgráfico 125 es un subgráfico del gráfico de cuadrícula 121. El gráfico de la cuadrícula 121 comprende nodos en masa, que incluyen nodos del subgráfico 125 y los nodos 127 que están fuera del subgráfico 125. El subgráfico 125 también comprende sub-gráficos de nodos masivos, que están
50 completamente dentro del subgráfico 125 y están conectados solo a otros nodos del subgráfico 125. El gráfico de cuadrícula 121 también comprende los nodos 129 que están en contacto con los nodos de superficie del subgráfico 125, por ejemplo, el nodo 131. Como se verá a continuación, los nodos en masa de la fuente, por ejemplo, el subgráfico 125 se pueden eliminar para simplificar el cálculo y los nodos de superficie en el límite, por ejemplo, el nodo 131, se pueden usar como la primera etapa en una ruta simulada.

55 Con referencia a la figura 7 y a la figura 8, los puntos de ablación que se modelan en la malla 123, por ejemplo, el punto de ablación 126, pueden estar entre los nodos de la malla 123. Dichos puntos de ablación no se proyectan directamente en el gráfico de cuadrícula 121, pero En la etapa 133 se tratan como las proyecciones de sus vértices de malla más cercanos. Por lo tanto, una proyección del nodo 128 (el nodo en la malla 123 más cercana al punto de
60 ablación 126) sobre el gráfico de cuadrícula 121 como el nodo de gráfico correspondiente 130 representaría el punto de ablación 126 en el gráfico de cuadrícula.

A continuación, en la etapa 135, el operador selecciona una fuente y un destino mediante la recuperación de la fuente. Alternativamente, la fuente y el destino pueden ser estimados. Los detalles de la etapa 135 se proporcionan a
65 continuación.

A continuación, en la etapa 137 se identifican las rutas en el plano de simulación que conecta cada par de sitios de ablación proyectados. La longitud de la ruta tridimensional más corta entre cada par de los sitios de ablación proyectada se determina para las conexiones. Esta etapa constituye una solución al problema de la ruta más corta. Se logra utilizando un algoritmo conocido, por ejemplo, el algoritmo de Dijkstra, o varios otros algoritmos conocidos.

5 El algoritmo estándar proporcionado en Mathematica® es adecuado para la etapa 137. Alternativamente, se puede realizar un escaneo "primero en amplitud".

A continuación, en la etapa 139, asigne a cada nodo un "valor de bloqueo" respectivo. El valor de bloqueo corresponde a la ruta más corta desarrollada en la etapa 137 que pasa por el nodo. Si ninguna de las rutas pasa a través de un

10 nodo, su valor de bloqueo se trata como infinito.

A continuación, en la etapa 141 se genera una ruta, como se describe a continuación. La etapa 141 se realiza de forma iterativa. Asociado con cada ruta creada por una ejecución de la etapa 141 hay un valor de bloqueo mínimo, es decir, la distancia de Euler de un segmento de línea que conecta dos puntos de ablación y es cruzado por la ruta.

15

A continuación, en la etapa de decisión 143 se determina si se ha alcanzado un criterio de terminación para la iteración de la etapa 141. Por ejemplo, esto puede ser un número predeterminado de iteraciones, o la expiración de un intervalo de tiempo, o una combinación de los mismos. Si la determinación en la etapa de decisión 143 es negativa, entonces el control regresa a la etapa 141.

20

Si la determinación en la etapa de decisión 143 es afirmativa, entonces el control pasa a la etapa final 145. Se informa que un espacio en los puntos de ablación es el mayor de los valores mínimos de bloqueo encontrados en las rutas generadas en las iteraciones de la etapa 141.

25 A continuación se hace referencia a la figura 9, que es un diagrama de flujo detallado del método de la etapa 135 (Fig. 7). El origen y el destino de una ruta se obtienen mediante la recuperación del operador.

En la etapa inicial 147, el operador elige una entrada de origen y un destino. Mediante una interfaz gráfica de usuario, el operador identifica un punto de origen en el espacio tridimensional y dibuja una elipse bidimensional para definir el destino. A continuación, en la etapa 149 se obtiene un parámetro de elipse canónico de destino como se describe anteriormente, lo que resulta en una elipse bidimensional ubicada en el espacio tridimensional.

30

A continuación, en la etapa 151, los nodos del gráfico de cuadrícula preparados en la etapa 119 que tienen coordenadas tridimensionales que caen fuera de la elipse se eliminan del gráfico.

35

A continuación, en la etapa 153 se identifica el sitio de ablación más cercano a la fuente de entrada elegida en la etapa inicial 147.

A continuación, en la etapa 155, la fuente se define como la superficie unidimensional de un subgráfico del gráfico ponderado generado en la etapa 119 (Fig. 7) dentro de la distancia desde la entrada de la fuente elegida en la etapa inicial 147 hasta la ablación proyectada más cercana sitio.

40

A continuación, en la etapa final 157, todos los nodos en masa del gráfico de la cuadrícula ponderada preparado en la etapa 119 (Fig. 7), es decir, los nodos en volumen del subgrafo del subgráfico 125 (Fig. 8) se eliminan de mayor consideración.

45

Alternativamente, la fuente y el destino pueden estimarse utilizando una modificación del método descrito anteriormente con respecto a la figura 5. A continuación se hace referencia a la figura 10, que es un diagrama de flujo detallado de la etapa 135 (Fig. 7). En esta variante la fuente y el destino se estiman automáticamente. Las etapas 91, 93, 95 son comunes al método de la figura 5 y no se describen nuevamente. A continuación, en la etapa 159, la elipse se reduce para excluir todos los puntos de ablación proyectados de sus bordes.

50

Después de realizar la etapa 159, en la etapa final 161 solo los nodos del gráfico de cuadrícula ponderada preparados en la etapa 119 que tienen coordenadas tridimensionales que se proyectan entre los puntos suspensivos ampliados y reducidos (etapas 95, 159) se conservan como posibles nodos para su uso en la generación de rutas .

55

A continuación se hace referencia a la figura 11, que es un diagrama de flujo que detalla la generación de una ruta de acuerdo con la etapa 141 (Fig. 7). Los nodos se identifican mediante valores de índice, que son punteros a objetos de datos que describen la malla. De lo contrario, estos valores de índice no tienen importancia física. En la etapa inicial 163 se genera un número aleatorio (Uniforme $[0; 2\pi]$),

60

y se usa como el índice a lo largo de la superficie de la fuente. El nodo correspondiente del archivo de malla se convierte en el origen de la ruta.

A continuación, en la etapa 165, el valor de bloqueo del nodo seleccionado en la etapa inicial 163 se asigna como el valor de bloqueo actual de la ruta.

65

A continuación, en la etapa 167 se genera una etapa de la ruta. La etapa conduce a un nodo vecino seleccionado al azar. Un nodo y un nodo vecino están conectados directamente. La distancia entre ellos en el espacio abstracto es "1".

5 A continuación, en la etapa de decisión 169, se determina si el valor de bloqueo del nodo vecino seleccionado en la etapa 167 es menor que el valor de bloqueo actual. Si la determinación en la etapa de decisión 169 es afirmativa, el control pasa a la etapa 171. El valor de bloqueo actual se restablece al valor de bloqueo del nodo vecino.

10 Después de realizar la etapa 171 o si la determinación en la etapa de decisión 169 es negativa, entonces en la etapa de decisión 173, se determina si el nodo vecino elegido en la etapa 167 es un nodo de destino.

Si la determinación en la etapa de decisión 173 es negativa, entonces el control regresa a la etapa 167 para continuar con la generación de la ruta.

15 Si la determinación en la etapa de decisión 173 es afirmativa, en la etapa final 175 el valor de bloqueo actual se informa como el valor de bloqueo de la ruta.

Variante Combinada

20 Algunos aspectos de la variante sin mapa se pueden utilizar para mejorar la eficiencia de cálculo de la variante de archivo de mapa. Las ubicaciones en la malla que están lejos de los sitios de ablación originales se pueden proyectar en el plano de simulación y el nodo más cercano se puede seleccionar de acuerdo con las distancias de Euler bidimensionales.

25 Segunda realización

En esta realización, las rutas entre la fuente y el destino no se calculan. Más bien, el espacio se encuentra a partir de consideraciones geométricas. Se construye un gráfico de árbol para que las rutas entre todos los sitios tengan segmentos de longitud mínima.

30 A continuación se hace referencia a la figura 12, que es un gráfico intermedio que es útil para construir un gráfico de árbol de sitios de ablación. Los nodos del gráfico de árbol se identifican mediante números, que son índices de registros de datos de sus sitios de ablación asociados. Un par de sitios de ablación comprende un nodo conectado a su nodo más cercano por un borde. Un par 177 está delineado por un círculo roto. Un grupo 179 de nodos está delineado por un círculo roto.

40 A continuación se hace referencia a la figura 13, que es un diagrama de flujo de un método de generación de ruta. El método encuentra una ruta necesaria para aislar la fuente del destino que tiene el valor de bloqueo más pequeño. El segmento más grande de la ruta se informa como el espacio.

En la etapa inicial 181 se identifica una media muestral, es decir, una media de un conjunto de vectores de posición de todos los sitios de ablación, y los puntos se centran en la media al restar la media de cada uno de los otros vectores.

45 A continuación, en la etapa 183 para cada punto, un par se define como un borde del gráfico al otro punto más cercano. Se pueden encontrar dos puntos conectados indirectamente. Todos los bordes duplicados se eliminan en la etapa 185. Las implementaciones de la etapa inicial 181 y la etapa 183 se detallan en el código de Mathematica del Listado 1. Otros listados en este documento también se expresan en el código de Mathematica.

50 Listado 1

cent = media [conjunto de datos];

centerDataSet = # - cent & / @ dataSet;

55 NearestF = Nearest [centeredDataSet → Automatic];

firstgrdat = Union [UndirectedEdge @@ Sort @ NearestF [# , 2] & / @ centredDataSet];

60 A continuación se hace referencia a la figura 14, que es un gráfico simplificado que ilustra la etapa 185 (Fig. 13). Un punto 187 es el vecino más cercano al punto 189 (medido por la distancia tridimensional de Euler). Los puntos 187, 189 están conectados por el borde 191. De manera similar, el punto 189 y el punto 193 forman un par conectado por el borde 195. Otro par comprende los puntos 187, 193 conectados por el borde 197. Sin embargo, el borde 197 es redundante y, por lo tanto, se elimina., como se muestra en el lado derecho de la figura.

65 Volviendo a la figura 13, en las siguientes etapas se construye un gráfico a partir de todos los bordes restantes después

de realizar la etapa 185. Los grupos se definen como componentes conectados en el gráfico, por ejemplo, el grupo 179 (Fig. 12).

En la etapa 199, los puntos en cada grupo se ordenan por índice. Se recordará que el índice es una referencia arbitraria a un objeto de datos. Cuando se completa la etapa 199, el primer punto del clúster ordenado tiene el índice más pequeño en ese clúster.

A continuación, en la etapa 201, una lista de grupos se ordena por el índice del primer punto dentro de los grupos, de modo que el orden de los grupos cambie, como se muestra en el Listado 2

Listado 2

```
firstcon = SortBy [Sort / @ ConnectedComponents [firstgr], First];
```

A continuación, en la etapa 203, una lista ordenada de las primeras posiciones de cada grupo se deriva de la lista ordenada de grupos que se preparó en la etapa 201 para identificar cada punto con el identificador del primer punto en su grupo, como se muestra en el Listado 3.

Listado 3

```
firstList = Table [Position [firstcon, i, 2] [1,1], {i, Sort @ Flatten @ firstcon}];
```

En la etapa 205, todos los pares de puntos posibles se asignan y se clasifican de acuerdo con las distancias entre los miembros de los pares para formar una lista ordenada de todos los bordes posibles. Luego se eliminan los duplicados.

La etapa 207 comprende conectar los grupos por iteración sobre los pares ordenados. Si los índices de un par se relacionan con más de un grupo, el par se retiene y los dos grupos se unen. El proceso se aborta cuando todos los puntos están en el mismo grupo.

A continuación se hace referencia a la figura 15, que es un gráfico típico que resulta del desempeño de la etapa 207 (Fig. 13).

A continuación, en la etapa 209, el gráfico de la figura 15 se amplía formando una unión con el gráfico intermedio de la figura 12. El procedimiento se detalla en el Listado 4.

Listado 4

```
pathdat = Union [firstgrdat, restgraphdat]
```

```
GraphUnion [firstgr, restgraph]
```

A continuación se hace referencia a la figura 16, que es un gráfico de árbol típico que resulta del desempeño de la etapa 209. El gráfico de árbol define una ruta construida de los segmentos más cortos para cada par de puntos.

A continuación se hace referencia a la figura 17, que es una presentación tridimensional de los puntos correspondientes del diagrama de árbol de la figura 16. La figura 16 y la figura 17 representan una ruta construida de los segmentos más cortos que conectan cada par de puntos.

Volviendo a la figura 13, en la etapa 211 los bordes del gráfico de árbol producido en la etapa 209 se eliminan de la lista ordenada que se creó en la etapa 205. En esta etapa, se pueden informar múltiples espacios en múltiples aislamientos de señales.

Después de realizar la etapa 211, un espacio a través de los sitios ablacionados se puede identificar opcionalmente en función de una nueva fuente. Cuando se omite esta opción, como lo indica una línea discontinua, el control pasa a la etapa final 213, que se describe a continuación. De lo contrario, el operador en la etapa 215 selecciona un punto, por ejemplo, haciendo clic con el mouse en la pantalla. El operador puede usar otros métodos o seleccionarlos automáticamente para seleccionar uno o más puntos de fuentes que desee aislar.

A continuación, en la etapa 217, las intercepciones tridimensionales de la posición del ratón se identifican como un par de vectores que definen un segmento de línea. Esto se puede entender con un clic del mouse que define un rayo que se extiende desde el puntero del mouse hasta la pantalla. Una caja virtual tridimensional que contiene todos los puntos relevantes se cruza con el rayo dos veces. Cada punto de intersección tiene coordenadas tridimensionales. Todos los puntos del sitio de ablación se centran alrededor del centro del segmento de línea que conecta las intersecciones.

A continuación, en la etapa 219 se realiza una operación de rotación de tal manera que el eje x se alinea con la

dirección del segmento de línea definido por el clic del mouse en la etapa 217. Los puntos se proyectan en el plano $x = 0$. Debido a que los puntos estaban centrados alrededor de la posición del mouse, el origen de coordenadas es un punto de referencia conveniente para la rotación.

5 Las siguientes etapas describen una iteración sobre la lista ordenada de bordes, en la que se retiene el segmento más corto que cumple con un criterio de separación predeterminado, por ejemplo, un número de devanado de ± 1 . En la etapa 221 para cada borde se crea un gráfico de los bordes. Esta gráfica es la unión de la gráfica de árbol con un borde adicional. Agregar un borde a un gráfico de árbol de esta manera produce un bucle. Por lo tanto, esta gráfica solo tiene un bucle ya que la gráfica de árbol no tiene bucles y tiene todos sus puntos conectados.

10 A continuación, en la etapa 223, se selecciona un subgráfico de todos los vértices del gráfico que son componentes centrales de orden 2. Este subgrafo es un bucle puro y no tiene elementos débilmente conectados. En la teoría de gráficos, un gráfico k -degenerado es un gráfico no dirigido en el que cada subgrafo tiene un vértice de grado k como máximo: es decir, algún vértice en el subgrafo toca k o menos del borde del subgráfico. La degeneración también se conoce como el número k -core. Para los fines de esta descripción, un subgrafo que tiene elementos débilmente conectados tiene un valor k menor que 2.

15 A continuación, en la etapa de decisión 225, se determina si el bucle del subgrafo actual incluye, es decir, abarca el origen. Si un punto bidimensional está dentro de un polígono bidimensional, la suma de los ángulos interiores de los lados del polígono debe ser exactamente 360° . Una forma de determinar si el bucle incluye el origen es sumar las diferencias de los tangentes de los puntos en cada borde del gráfico del bucle, corrigiendo el rango de manera apropiada para tratar las discontinuidades. Dado que en $x < 0$, $y = 0$, la arcotangente salta de $+180^\circ$ a -180° , la cobertura del ángulo de cada segmento debe corregirse en el rango $(-180^\circ, +180^\circ)$. Si la suma final es $\pm 360^\circ$, el bucle incluye el origen.

25 Si la determinación en la etapa de decisión 225 es negativa, entonces el control regresa a la etapa 223 para continuar la iteración generando un nuevo subgrafo desde el siguiente borde (en orden de longitud).

30 Si la determinación en la etapa de decisión 225 es afirmativa, se concluye que se ha encontrado el espacio. El espacio se informa en la etapa final 213. La longitud del espacio es la distancia de Euler entre los vértices tridimensionales a cada lado del borde del espacio. Opcionalmente, al calcular las longitudes de todos los bordes del gráfico de bucle, se pueden informar más espacios, por ejemplo, cualquier número de espacios más pequeñas. Para comodidad del operador, al seleccionar un esquema de color de alto contraste y un rango de tamaño de espacio objetivo, los espacios se pueden colorear de acuerdo con sus longitudes.

35 A continuación se hace referencia a la figura 18, que es un gráfico de bucle ejemplar en un espacio abstracto que se evalúa en la etapa 221.

40 A continuación se hace referencia a la figura 19, que es una pantalla de pantalla compuesta que se produjo. En el panel 22 se ve una presentación tridimensional de los puntos de ablación. Los puntos proyectados en un plano de simulación se muestran en el panel 229. En la parte superior derecha de la pantalla se muestra una tecla 231 que indica el tamaño de los espacios. En el panel 227 se muestra un espacio 233 que mide 7,5 mm.

45 A continuación se hace referencia a la figura 20, que es una pantalla que ilustra múltiples espacios encontrados en una colección de puntos de ablación cuando se realiza el procedimiento que comienza en la etapa 215 y donde se encuentran automáticamente todas las fuentes razonables. Se descubrieron tres espacios, que son los más grandes entre los espacios descubiertos por el procedimiento de la figura 7 y se informaron en la etapa final 145. Sus tamaños están marcados en la figura.

50 Consideraciones adicionales

Una vez que los tamaños de las lesiones de los sitios de ablación se calculan mediante una fórmula, los radios del sitio se pueden eliminar de la longitud de cada borde antes de la clasificación. El resultado será el espacio más grande entre las lesiones estimadas en lugar del espacio más grande entre los centros del sitio.

55 Encontrar un espacio en una línea: una vez que se determinan los sitios de inicio y final, se puede encontrar la ruta más corta utilizando la teoría de grafos. Los segmentos de la ruta pueden ordenarse y colorearse objetivamente como para el espacio en un bucle.

60 Puntos de exclusión: todo el procedimiento se puede realizar en un subconjunto de los sitios de ablación.

Búsqueda automática de espacios: dado un conjunto de parámetros de entrada, el algoritmo puede buscar bucles y espacios automáticamente, como se muestra en el sensor de posición 21.

65 En lugar de probar si un bucle incluye el origen en la etapa de decisión 225 (Fig. 13), los criterios de espacio para la búsqueda automatizada de espacios pueden incluir:

El número mínimo de sitios en un bucle (por ejemplo, 8).

El tamaño mínimo del bucle (por ejemplo, 9 mm, determinado por la distancia media de los puntos desde el centro del bucle).

La abertura máxima del espacio (por ejemplo, 45°).

El tamaño máximo del espacio (por ejemplo, 40 mm).

Proposición

La siguiente prueba constituye una base lógica para los procesos descritos anteriormente: dado un conjunto de curvas cerradas discretas en una superficie 2D y una fuente puntual, el aislamiento es la curva con número de devanado unitario que se construye de segmentos con las longitudes de segmento más pequeñas.

Prueba

1. Supongamos que hemos generado todas las rutas posibles desde el origen hasta el destino (denominado conjunto de rutas).

2. Supongamos, además, que tenemos un conjunto fino de segmento que construye todos los contornos discretos posibles con un número de devanado de unidad sobre la fuente (denominado conjunto de segmento y conjunto de contorno, respectivamente).

3. Cada ruta en el conjunto de rutas se cruza con todos los contornos en el conjunto de contornos.

4. Suponiendo que la resistencia al flujo de corriente es inversa al tamaño de un espacio de contorno, una ruta que corta el contorno con el espacio más pequeño experimenta la mayor resistencia en ese espacio.

5. Recolectemos estos segmentos y nombremos el conjunto del conjunto de segmentos sospechoso.

6. Las rutas con menos obstáculos son las rutas que cruzan el segmento del conjunto sospechoso con la longitud de segmento más grande. Por lo tanto, este segmento tiene el espacio más grande en el aislamiento, y será parte del aislamiento.

7. Al eliminar todos los contornos que no incluyen este segmento del conjunto de contornos (de modo que solo los segmentos que forman parte de los contornos restantes queden en el conjunto de segmentos y el conjunto sospechoso), el siguiente segmento más grande en el conjunto sospechoso es el siguiente en orden Causa de fuga de corriente, por lo que también forma parte del aislamiento.

8. Repetir este proceso nos deja con un solo contorno, que es el que tiene los segmentos con la menor longitud de segmento por orden, y este contorno es el aislamiento.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (14), que comprende:

5 una sonda adaptada para su inserción en contacto con un corazón (12) en un cuerpo de un sujeto, teniendo la sonda un sensor de ubicación (21) y un electrodo (32) en una parte distal de la sonda;

un generador de energía de ablación (25);

10 un procesador (22) unido al sensor de ubicación, y dispuesto de manera cooperativa con el generador de energía de ablación para realizar la etapa de:

ablación de una pluralidad de sitios en el corazón, los sitios tienen ubicaciones respectivas en un sistema de coordenadas tridimensional;

15 proyección de las ubicaciones de los sitios en un plano de simulación;

identificación de un conjunto de rutas tridimensionales más cortas que correspondan a conexiones bidimensionales entre pares de las ubicaciones proyectadas de los sitios, teniendo las rutas tridimensionales las longitudes respectivas; y

notificación de un espacio como la más larga de las rutas tridimensionales.

2. El aparato según la reivindicación 1, en el que el procesador es operativo para realizar las etapas de:

25 definir una fuente y un destino,

proyectar la fuente y el destino en el plano de simulación, donde las ubicaciones proyectadas de los sitios (51) se encuentran entre la fuente proyectada (55) y el destino proyectado (57) en el plano de simulación;

30 generar aleatoriamente rutas bidimensionales en el plano de simulación que se extiende desde la fuente proyectada hasta el destino proyectado y que tiene pasajes entre dos de las ubicaciones proyectadas de los sitios, los pasajes tienen tamaños respectivos; y

35 para cada una de las rutas bidimensionales que determinan un tamaño mínimo de los pasajes de las mismas, en el que informar un espacio comprende informar el tamaño mínimo más grande de las rutas bidimensionales.

3. El aparato según la reivindicación 2, en el que las ubicaciones proyectadas de los sitios se encuentran en una elipse de mejor ajuste, en el que una parte de las ubicaciones proyectadas de los sitios se encuentran fuera de la elipse, que comprende además ampliar la elipse para incluir todas las ubicaciones proyectadas de Los sitios (51).

4. El aparato según la reivindicación 2, en el que el procesador es operativo para realizar las etapas de:

45 modelar una parte del corazón como una malla triangular que comprende nodos de malla y puntos de ablación, puntos de ablación respectivos que tienen un nodo de malla más cercano;

desde los nodos de malla, preparar un gráfico de cuadrícula que tiene nodos de gráfico que están conectados por bordes no dirigidos;

50 representar los puntos de ablación en el gráfico de la cuadrícula como nodos del gráfico correspondiente del nodo de malla más cercano al mismo; y

utilizar los nodos del gráfico correspondientes como las ubicaciones proyectadas de los sitios en la etapa de generar rutas bidimensionales.

55 5. Un aparato que comprende:

una sonda adaptada para su inserción en contacto con un corazón en un cuerpo de un sujeto, teniendo la sonda un sensor de ubicación y un electrodo en una parte distal de la sonda;

60 un generador de energía de ablación;

un procesador unido al sensor de ubicación y dispuesto de manera cooperativa con el generador de energía de ablación para realizar las etapas de:

65

ablación de una pluralidad de sitios en el corazón, los sitios tienen ubicaciones respectivas en un sistema de coordenadas tridimensional;

5 construcción de un gráfico de árbol a partir de todos los sitios, el gráfico de árbol con bordes y definiendo una ruta construida de segmentos más cortos entre las respectivas ubicaciones de pares de los sitios;

selección de una fuente, en donde el gráfico de árbol tiene un bucle que gira alrededor de la fuente, el bucle describe un espacio entre dos de los sitios de ablación; y

10 notificar un borde más corto en el gráfico de árbol que puede cerrar el espacio como un tamaño de espacio.

6. El aparato según la reivindicación 5, en el que el procesador es operativo para seleccionar fuentes adicionales e iterar la etapa de construir un gráfico de árbol usando las fuentes adicionales.

15

20

25

30

35

40

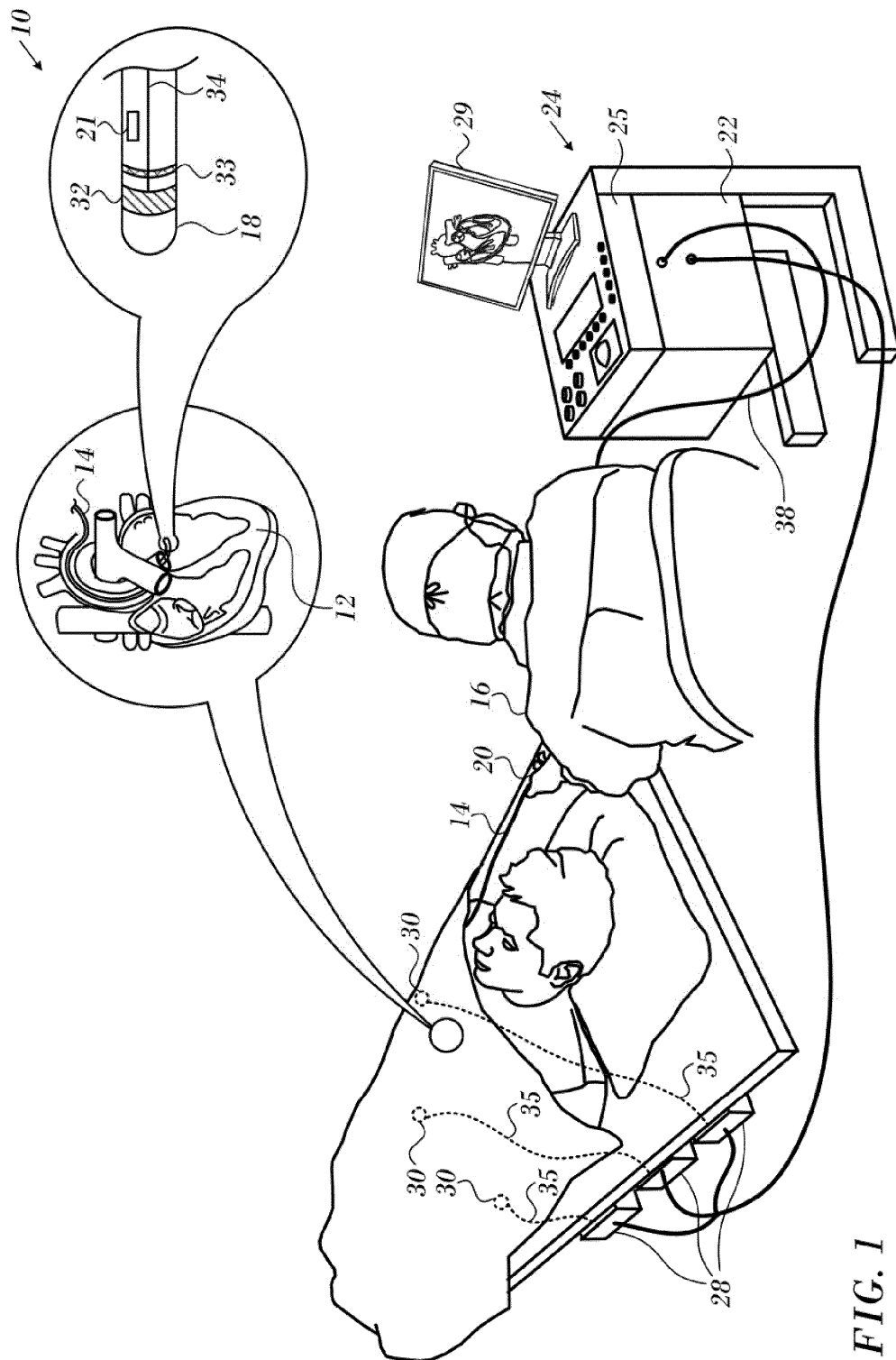
45

50

55

60

65



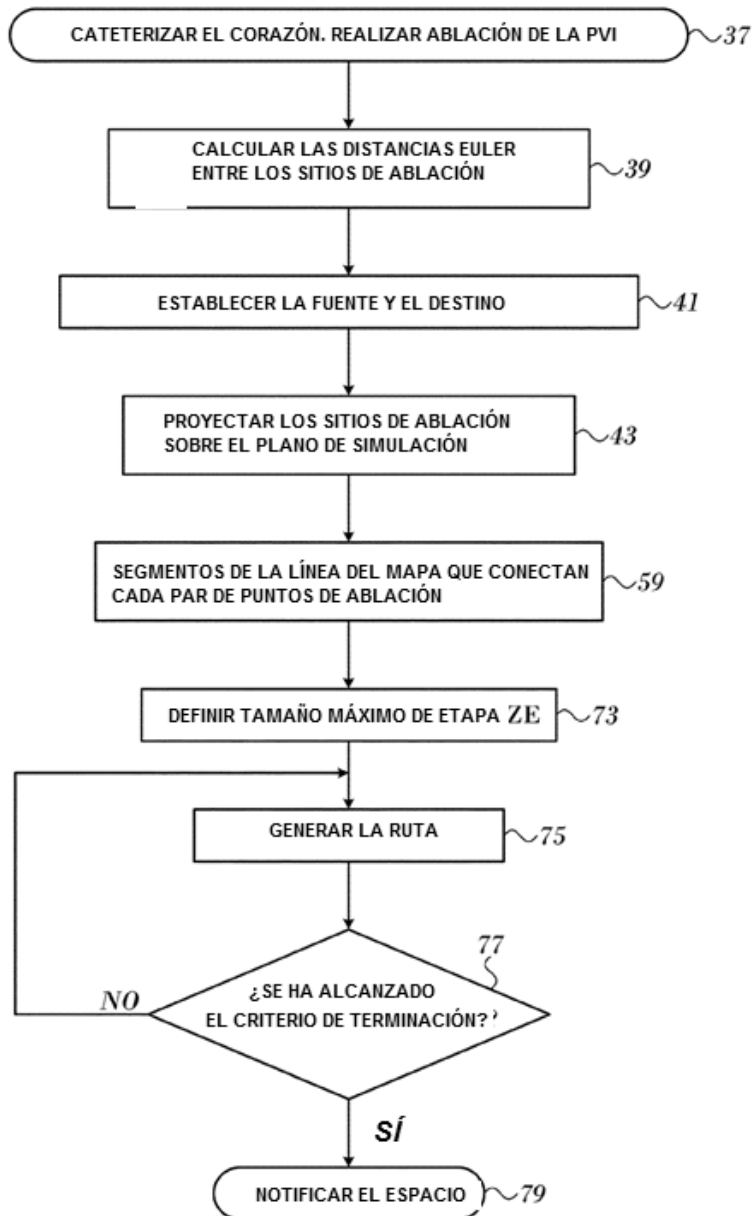


FIG. 2

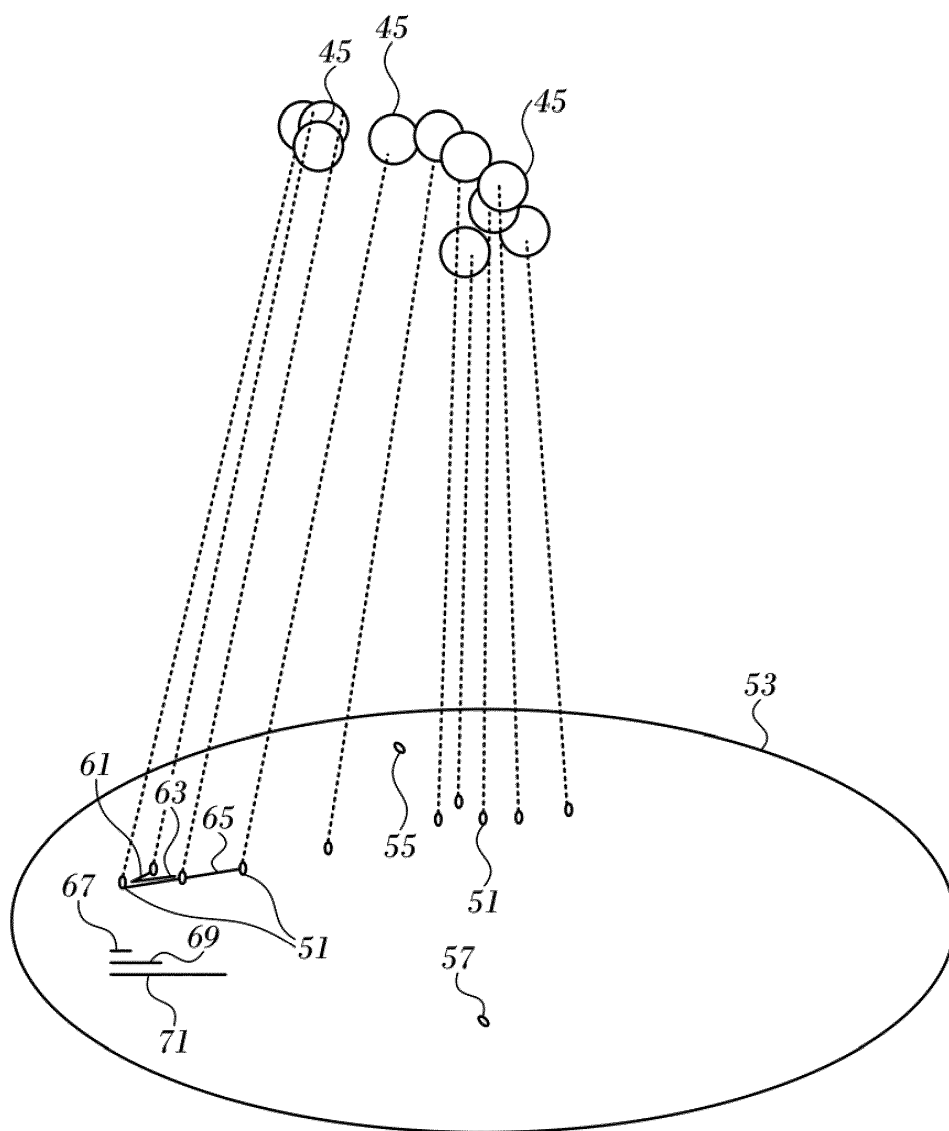


FIG. 3

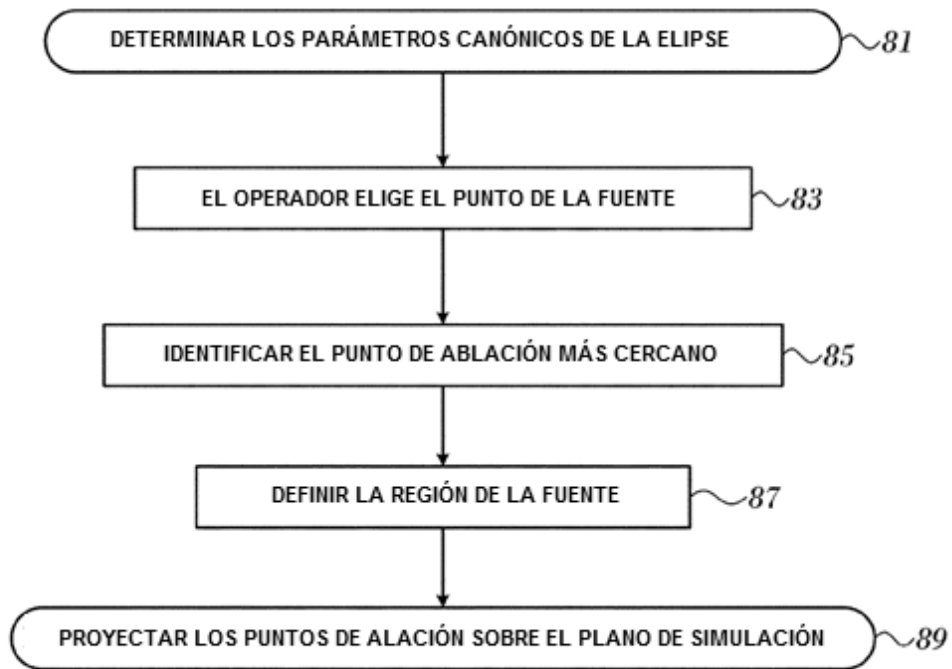


FIG. 4

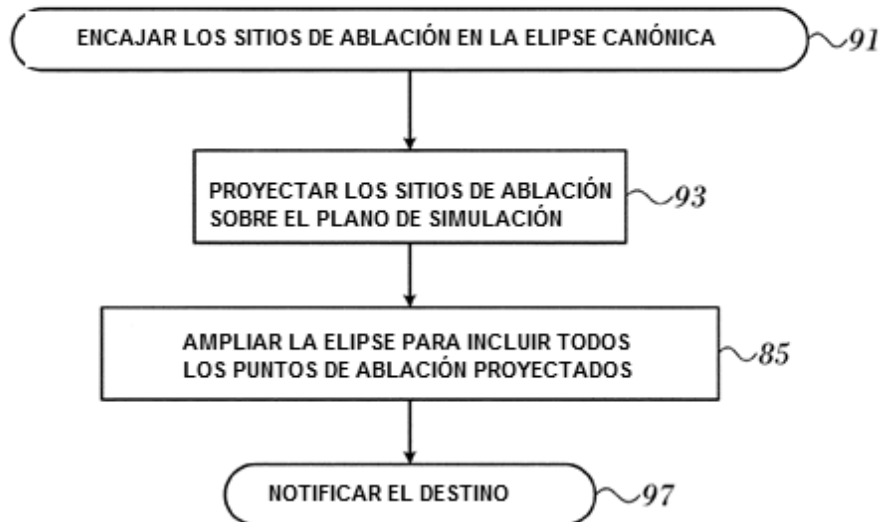


FIG. 5

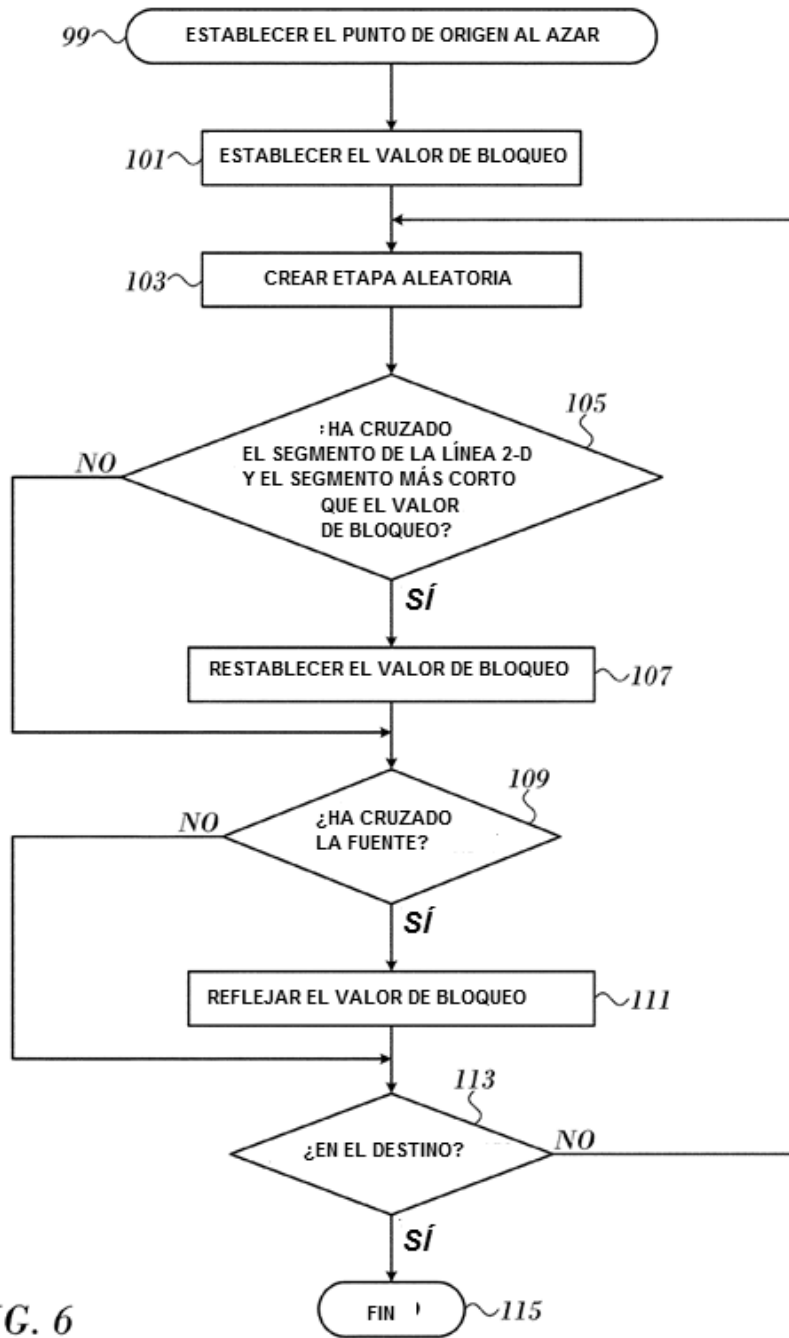


FIG. 6

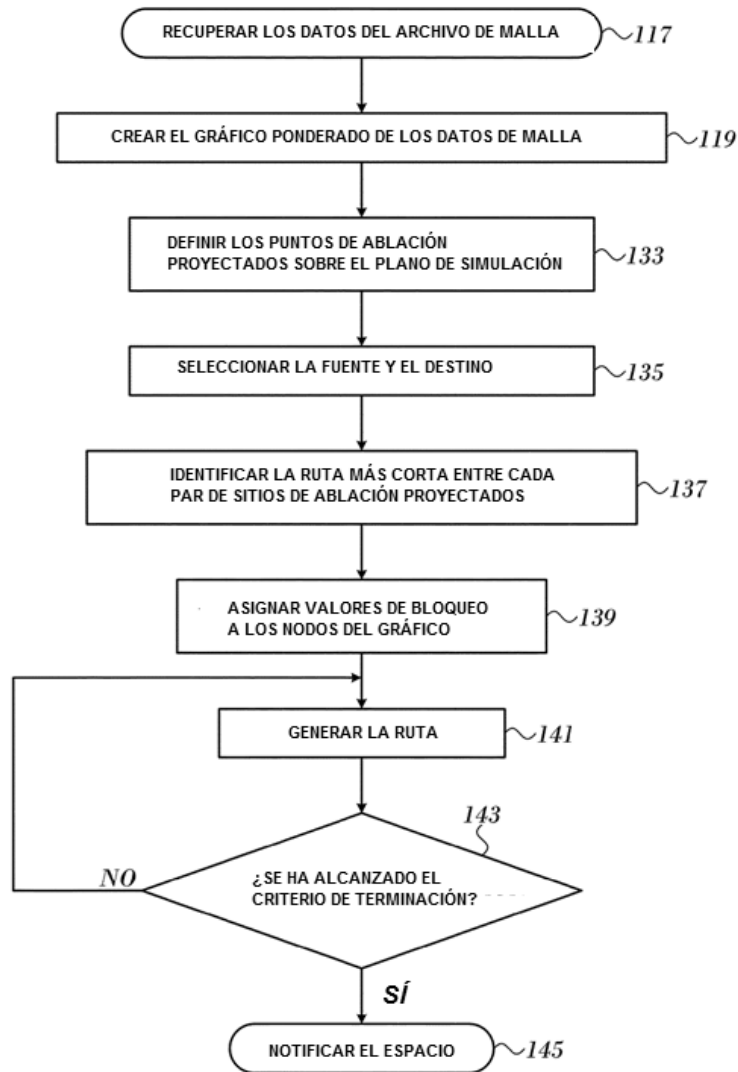


FIG. 7

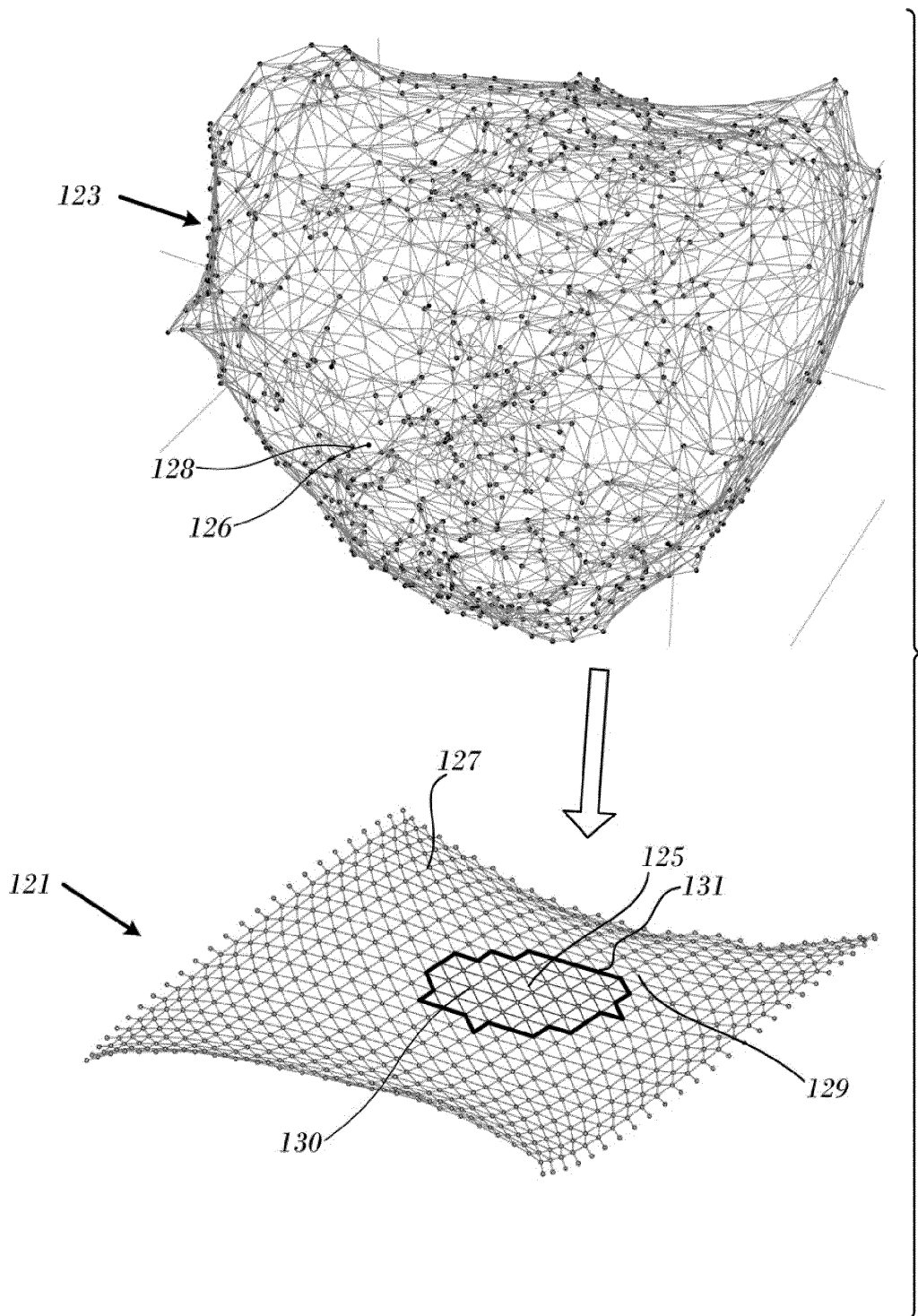


FIG. 8

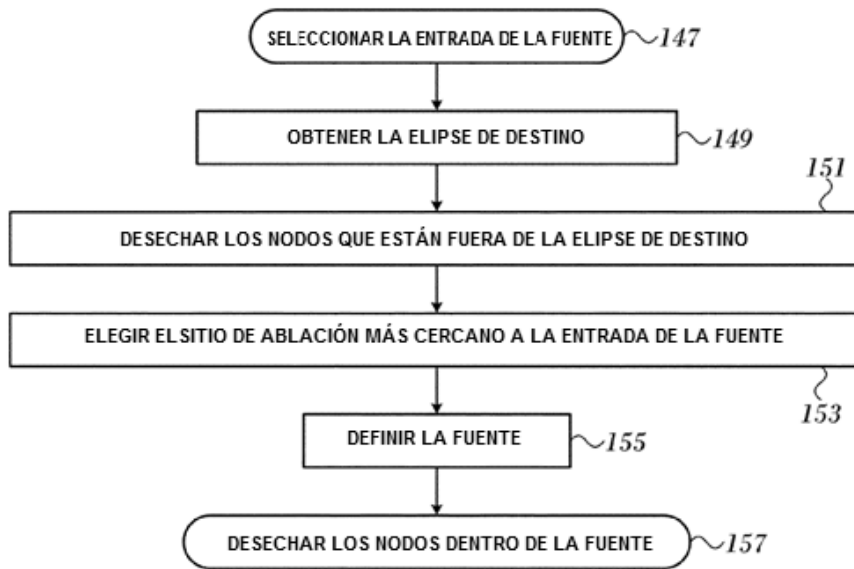


FIG. 9

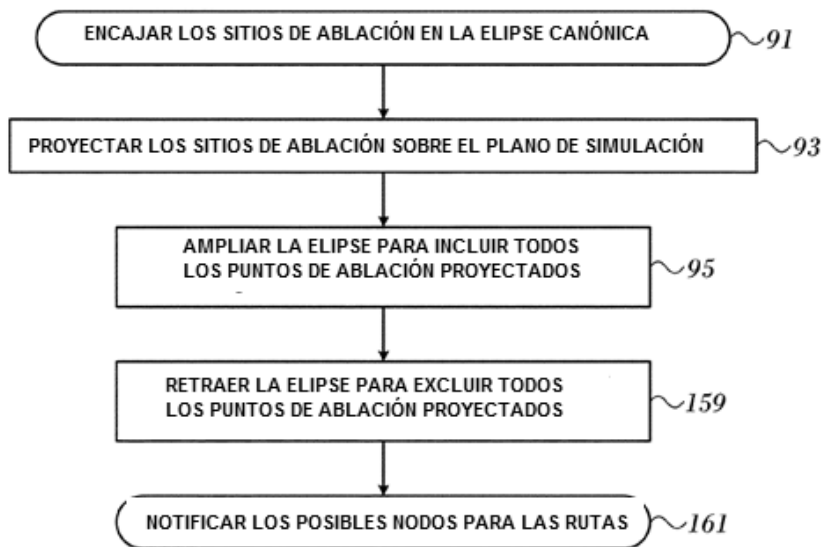


FIG. 10

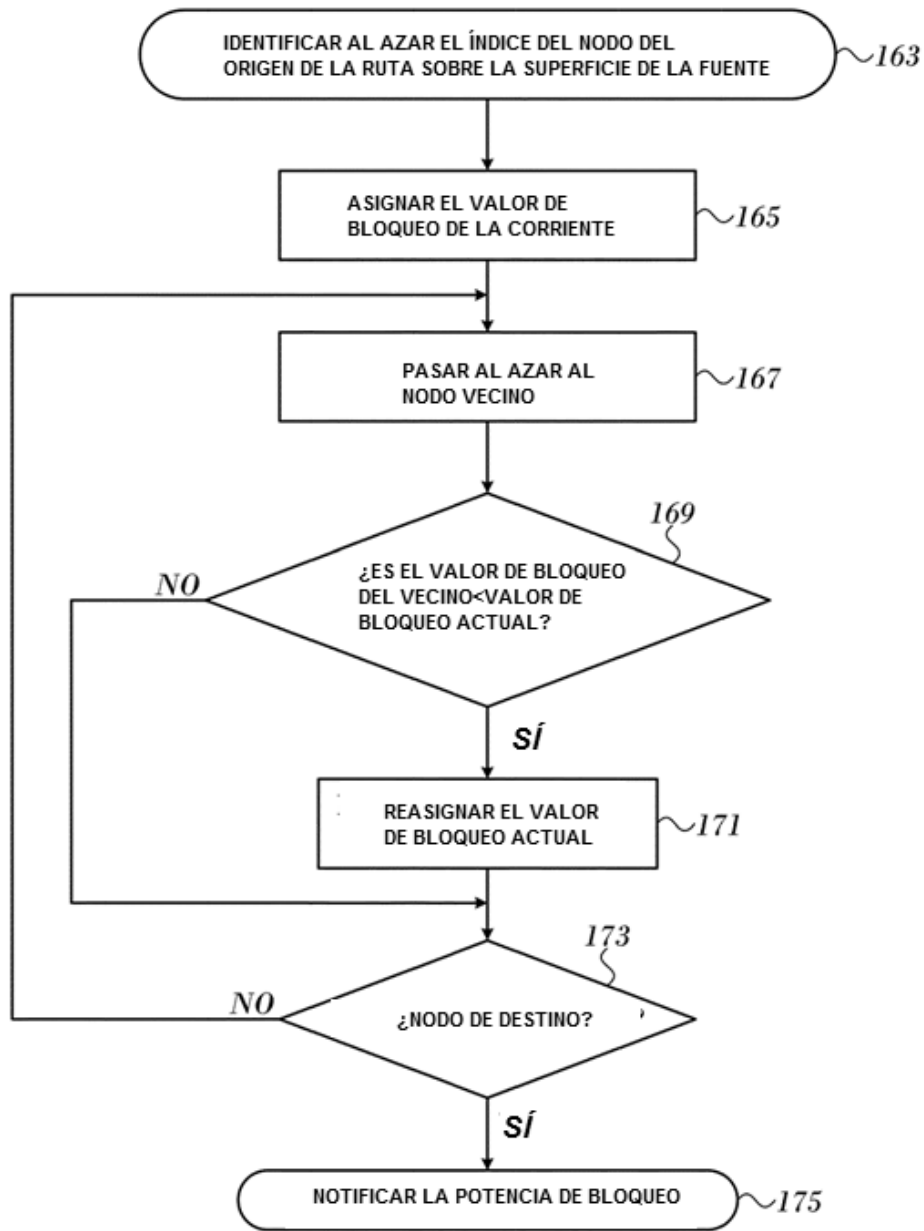


FIG. 11

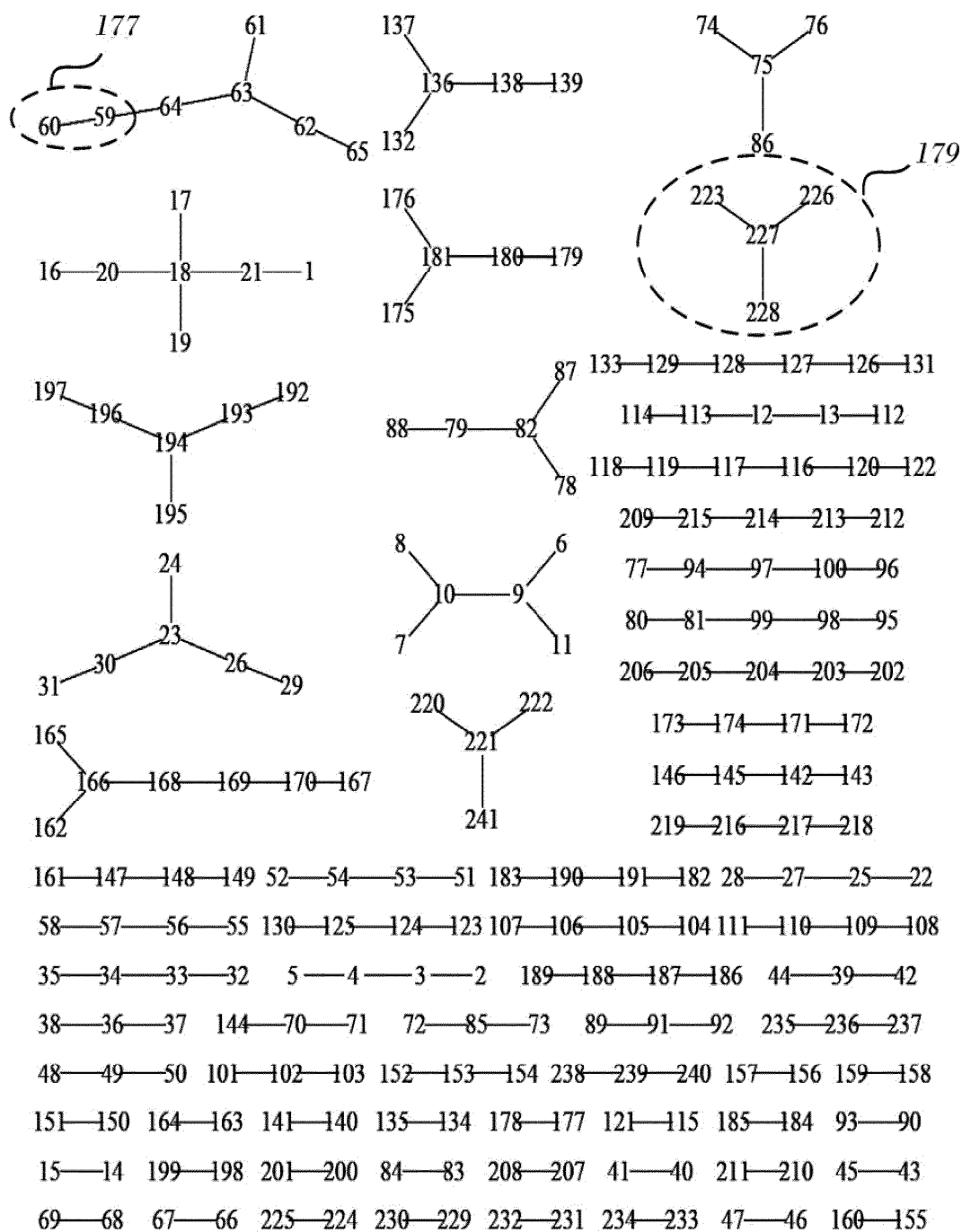
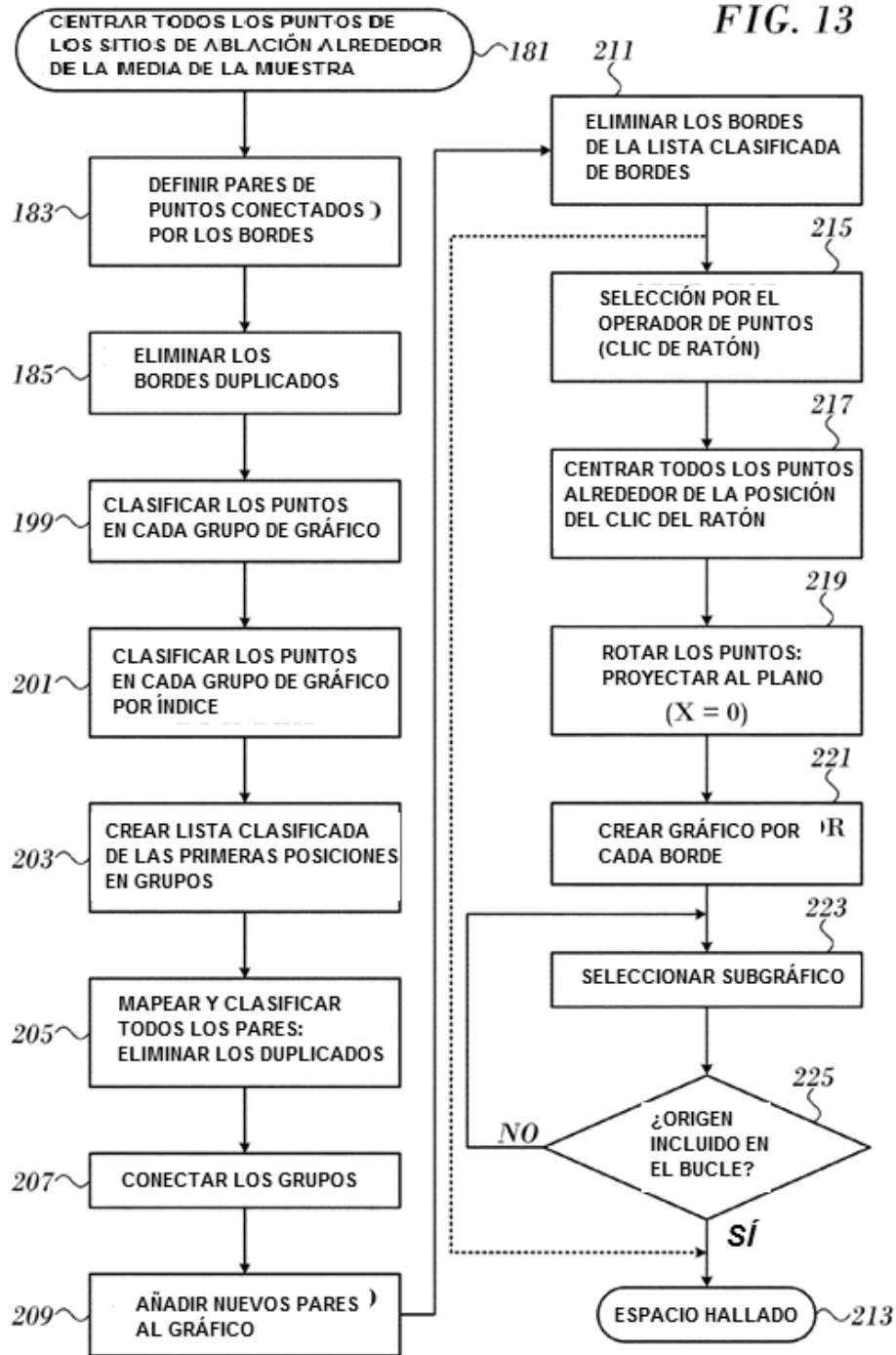


FIG. 12

FIG. 13



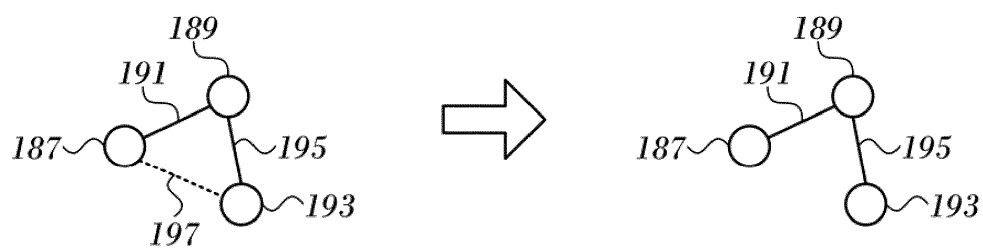


FIG. 14

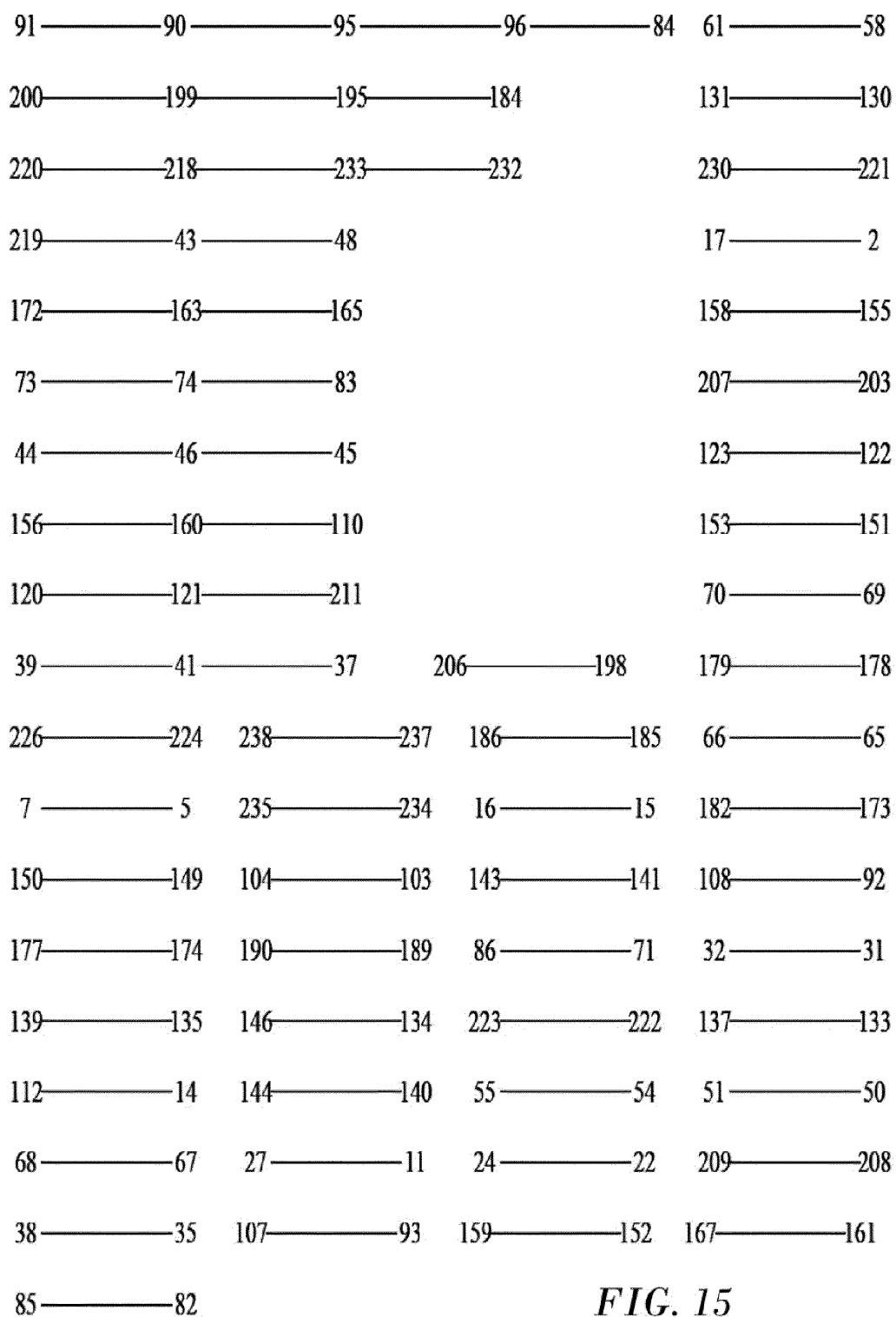


FIG. 15

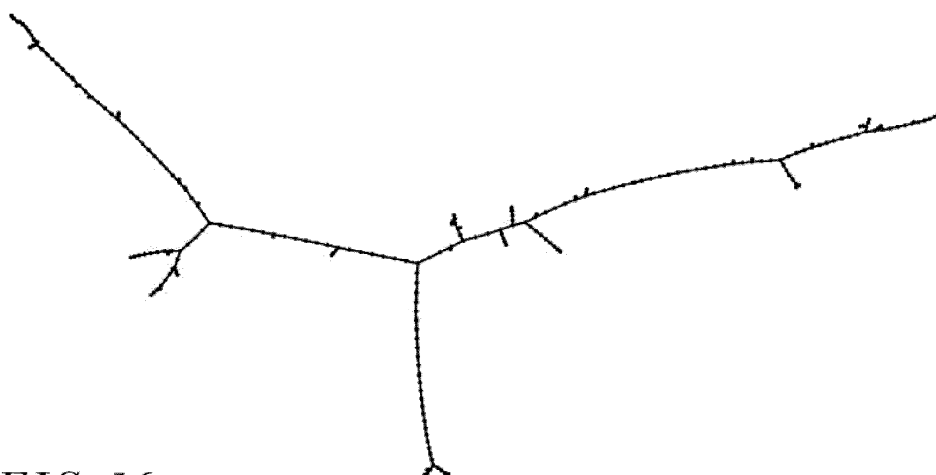


FIG. 16

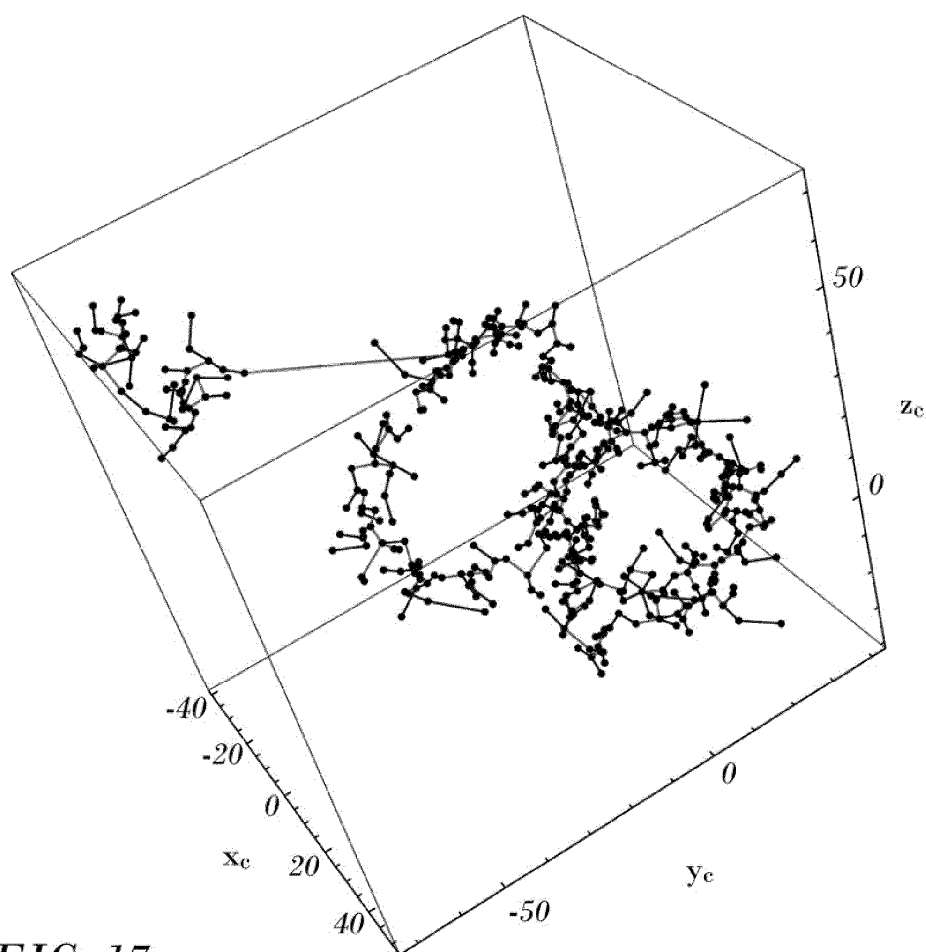


FIG. 17

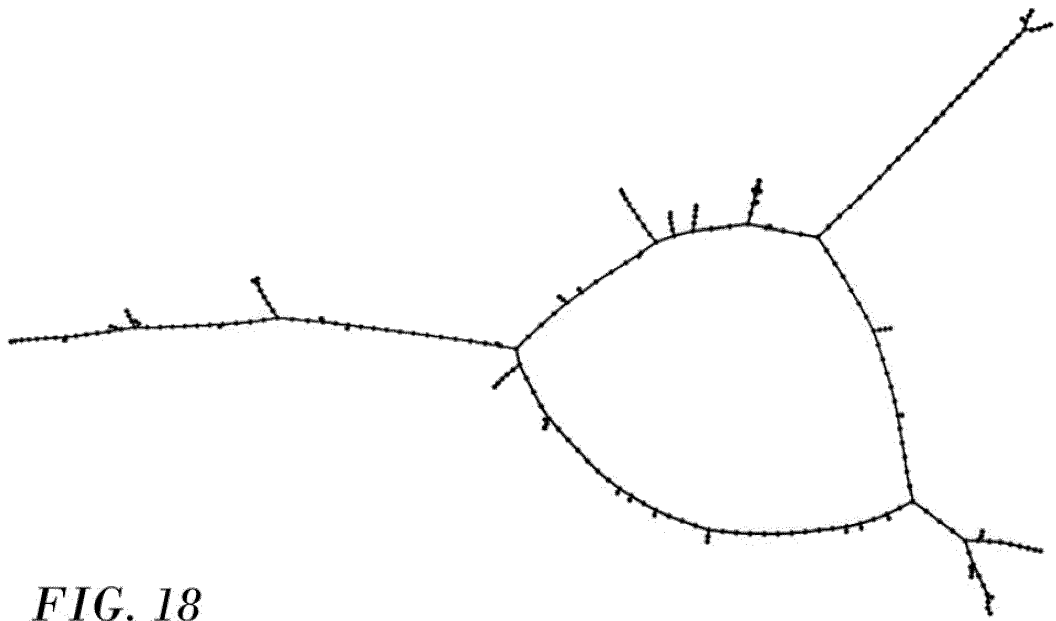
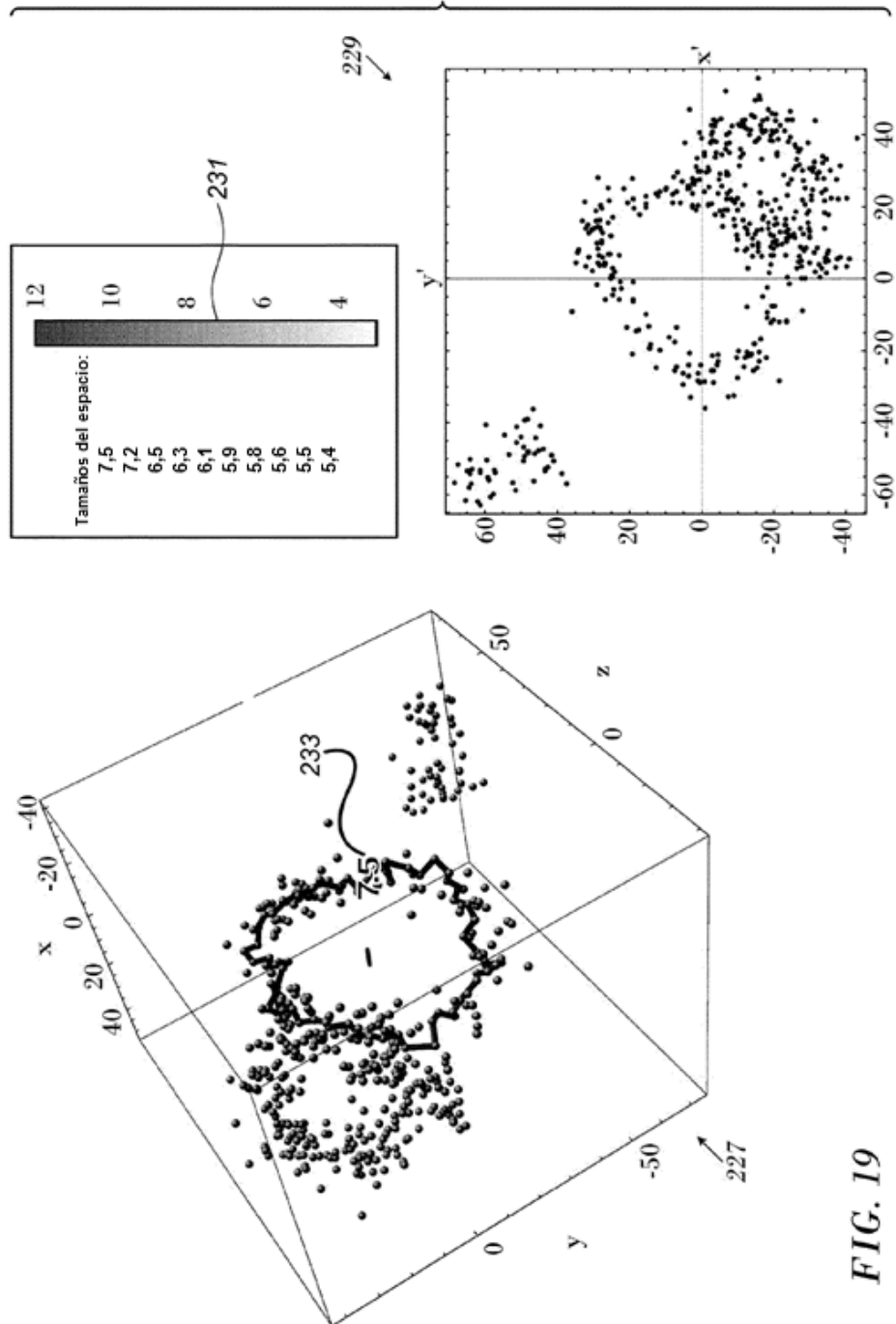


FIG. 18



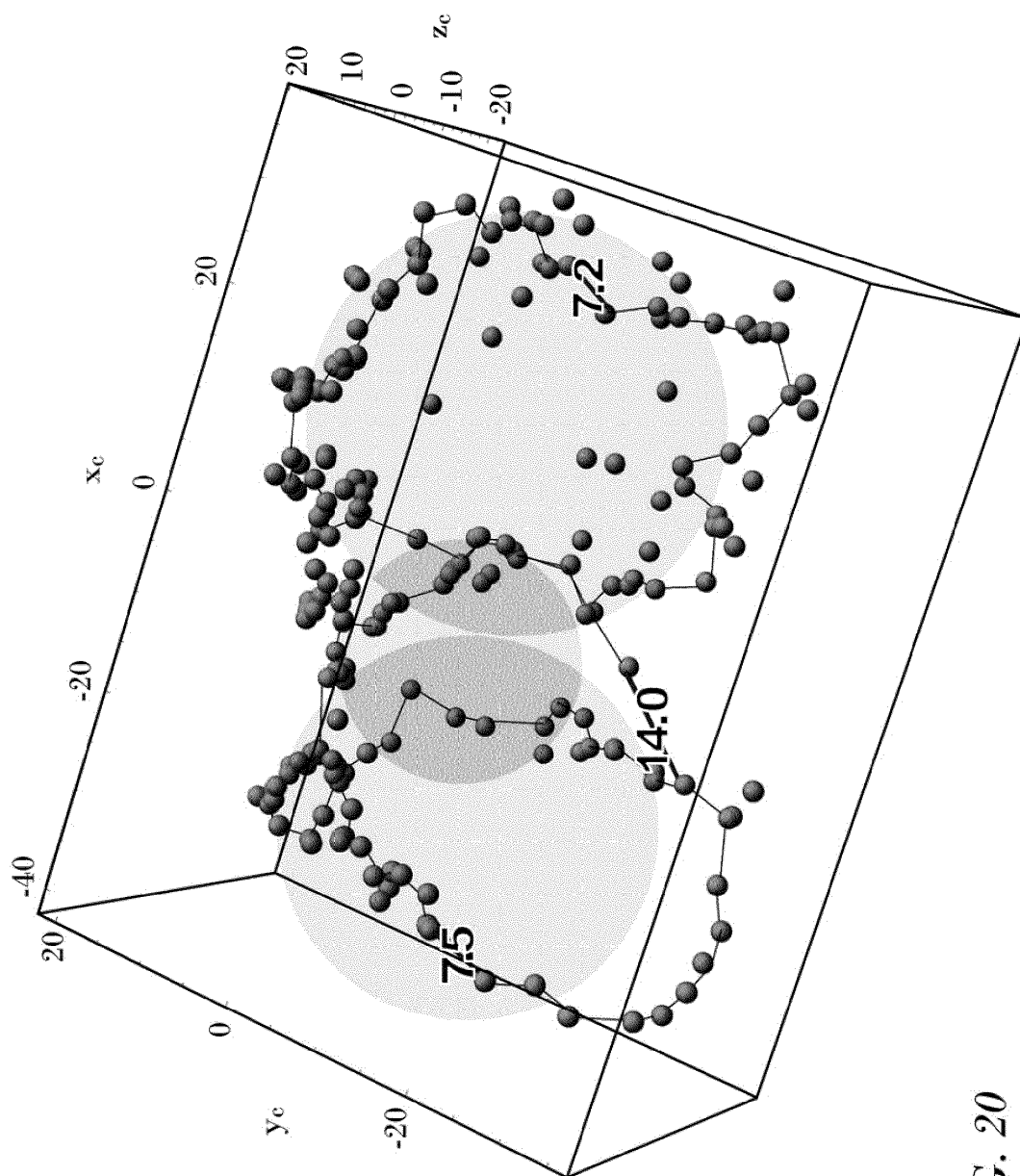


FIG. 20