

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 273**

51 Int. Cl.:

A61B 18/00 (2006.01)

A61M 25/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.10.2013** **PCT/US2013/066256**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.05.2014** **WO14066439**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.10.2013** **E 13788824 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2019** **EP 2908755**

54 Título: **Catéteres con flexibilidad mejorada**

30 Prioridad:

22.10.2012 US 201261717067 P

15.03.2013 US 201361793144 P

15.03.2013 US 201361800195 P

18.05.2013 US 201361825018 P

08.08.2013 US 201361863850 P

08.08.2013 US 201361863856 P

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

28.11.2019

73 Titular/es:

MEDTRONIC ARDIAN LUXEMBOURG S.À.R.L.

(100.0%)

102 rue des Maraîchers

2124 Luxembourg, LU

72 Inventor/es:

BEASLEY, RUDY;

GOSHGARIAN, JUSTIN;

KU, VINCENT y

NASIT, BHAVIN

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 733 273 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

Catéteres con flexibilidad mejorada

Campo técnico

- 5 La presente tecnología se refiere a los catéteres de neuromodulación que tienen uno o más cortes y/u otras características que mejoran la flexibilidad, tales como para facilitar el suministro intravascular mediante aproximaciones transradiales u otras aproximaciones transluminales percutáneas adecuadas.

Antecedentes

- 10 El sistema nervioso simpático (SNS – Sympathetic Nervous System, en inglés) es un sistema de control corporal principalmente involuntario asociado típicamente con las respuestas al estrés. Las fibras del SNS se extienden a través del tejido casi en todos los sistemas de órganos del cuerpo humano y pueden afectar a características tales como el diámetro de la pupila, la motilidad intestinal y la expulsión de la orina. Dicha regulación puede tener una utilidad adaptativa para mantener la homeostasis o para preparar el cuerpo para una respuesta rápida a los factores ambientales. La activación crónica del SNS, sin embargo, es una respuesta de mala adaptación común que puede impulsar la progresión de muchos estados de enfermedad. La activación excesiva del SNS renal, en particular, ha sido identificada experimentalmente y en humanos como probable contribuyente a la compleja fisiopatología de la hipertensión, a estados de sobrecarga de volumen (por ejemplo, insuficiencia cardíaca) y enfermedad renal progresiva.

- 20 Los nervios simpáticos de los riñones terminan en los vasos sanguíneos renales, en el aparato yuxtaglomerular y en los túbulos renales, entre otras estructuras. La estimulación de los nervios simpáticos renales puede causar, por ejemplo, un aumento de la liberación de renina, un aumento de la reabsorción de sodio y un menor flujo sanguíneo renal. Estos y otros componentes de la función renal regulados neuralmente se estimulan considerablemente en estados de enfermedad caracterizados por un mayor tono simpático. Por ejemplo, la reducción del flujo sanguíneo renal y la tasa de filtración glomerular como resultado de la estimulación eferente simpática renal es probablemente una piedra angular de la pérdida de la función renal en el síndrome cardio-renal (es decir, la disfunción renal como una complicación progresiva de la insuficiencia cardíaca crónica). Las estrategias farmacológicas para frenar las consecuencias de la estimulación simpática renal incluyen fármacos simpaticolíticos de acción central, bloqueadores beta (por ejemplo, para reducir la liberación de renina), inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina y bloqueadores de receptores (por ejemplo, para bloquear la acción de la angiotensina II y la consiguiente activación de aldosterona a la liberación de renina), y diuréticos (por ejemplo, para contrarrestar la retención mediada simpática renal de sodio y agua). Estas estrategias farmacológicas, sin embargo, tienen limitaciones significativas que incluyen una eficacia limitada, problemas de cumplimiento, efectos secundarios y otros.

- 35 El documento US 2008/0147001 se refiere a un eje de catéter de balón de intercambio rápido que incluye un hipotubo con un patrón de corte en una porción de su longitud distal

- El documento EP 2 351 593 se refiere a un dispositivo tubular altamente flexible para uso médico.

El documento US 2005/0080400 se refiere a un dispositivo médico flexible.

El documento US 2006/0064123 se refiere a un dispositivo de trombolectomía mediante chorro de fluido de intercambio rápido.

Breve descripción de los dibujos

- 40 Muchos aspectos de la presente tecnología se pueden comprender mejor con referencia a los siguientes dibujos. Los componentes en los dibujos no están necesariamente a escala. Por el contrario, el énfasis se pone en ilustrar claramente los principios de la presente tecnología. Para facilitar la referencia, a lo largo de esta divulgación, se pueden utilizar números de referencia idénticos para identificar componentes o características idénticas o al menos en general similares o análogas.

- 45 La figura 1 es una vista, en perspectiva, parcialmente esquemática, que ilustra un sistema terapéutico que incluye un catéter de neuromodulación configurado de acuerdo con una realización de la presente tecnología.

La figura 2 es una vista lateral parcialmente recortada y ampliada de un eje del catéter de neuromodulación mostrado en la figura 1 que ilustra un hipotubo del eje y un corte que se extiende a lo largo de una trayectoria helicoidal que tiene un paso variable a lo largo de la longitud del eje.

- 50 La figura 3 es una representación bidimensional de la trayectoria helicoidal yuxtapuesta con un segmento correspondiente del eje mostrado en la figura 2.

Las figuras 4 y 5 son representaciones bidimensionales de diferentes porciones del corte mostrado en la figura 2.

La figura 6 es una vista parcialmente esquemática de un catéter de neuromodulación que incluye un eje que tiene segmentos primero y segundo de eje con diferentes flexibilidades, configurado de acuerdo con una realización de la presente tecnología.

5 La figura 7A es una representación bidimensional de una trayectoria helicoidal yuxtapuesta con el primer segmento del eje mostrado en la figura 6.

La figura 7B es una ampliación de una porción de la figura 7A que ilustra cambios en la pendiente a lo largo de la trayectoria helicoidal mostrada en la figura 7A.

Las figuras 8, 9 y 10 son representaciones bidimensionales de diferentes porciones de un corte que se extiende a lo largo de la trayectoria helicoidal mostrada en la figura 7A.

10 Las figuras 11, 12A, 17, 19, 21, 23 y 24A son representaciones bidimensionales de trayectorias helicoidales yuxtapuestas con segmentos del eje correspondientes configurados de acuerdo con varias realizaciones de la presente tecnología.

La figura 12B es una ampliación de una porción de la figura 12A que ilustra cambios en la pendiente a lo largo de la trayectoria helicoidal mostrada en la figura 12A.

15 Las figuras 13 a 16 son representaciones bidimensionales de diferentes porciones de un corte que se extiende a lo largo de la trayectoria helicoidal mostrada en la figura 12A.

Las figuras 18, 20, 22, 24 y 24B son representaciones bidimensionales de porciones de cortes que se extienden a lo largo de las trayectorias helicoidales mostradas en las figuras 17, 19, 21, 23 y 24A, respectivamente.

20 Las figuras 25 a 28 son representaciones bidimensionales de porciones de cortes configurados de acuerdo con varias realizaciones de la presente tecnología.

Las figuras 29 a 31 son vistas, en perspectiva, de segmentos del eje que tienen aberturas de salida de alambre de guía con diferentes posiciones con respecto a los cortes configurados de acuerdo con varias realizaciones de la presente tecnología.

25 Las figuras 32 y 33 son vistas, en perspectiva, de segmentos del eje que incluyen miembros alargados enrollados helicoidalmente, útiles para comprender la invención.

Las figuras 34 y 35 son vistas de perfil, laterales, de miembros alargados enrollados helicoidalmente que tienen arrollamientos con diferentes ángulos de hélice medios útiles para comprender la invención.

30 La figura 36 es una vista de perfil, lateral, de un miembro alargado enrollado helicoidalmente que tiene arrollamientos con diferentes ángulos de hélice medios en cada lado de una región de transición útiles para comprender la invención.

Descripción detallada

35 Los catéteres de neuromodulación configurados de acuerdo con al menos algunas realizaciones de la presente tecnología incluyen ejes alargados que tienen uno o más cortes y/u otras características que mejoran la flexibilidad (por ejemplo, la capacidad de flexión u otra capacidad de respuesta a una fuerza lateral) sin comprometer innecesariamente la rigidez axial deseable (por ejemplo, la capacidad de empuje u otra capacidad de respuesta a una fuerza axial) y/o la rigidez torsional deseable (por ejemplo, la capacidad de torsión u otra capacidad de respuesta a la fuerza de torsión). Por ejemplo, un catéter de neuromodulación configurado de acuerdo con una realización particular de la presente tecnología es lo suficientemente flexible en algunos aspectos para facilitar el despliegue a través de una trayectoria intravascular relativamente larga y/o tortuosa sin excesiva resistencia, mientras que todavía es lo suficientemente rígido en otros aspectos como para permitir la navegación intravascular u otra manipulación adecuada a través de una empuñadura extracorpórea. La rigidez axial deseable puede incluir, por ejemplo, la capacidad del eje para avanzar o retirarse a lo largo de la longitud de una trayectoria intravascular sin un pandeo o alargamiento significativos. La rigidez torsional deseable puede incluir, por ejemplo, la capacidad del eje para transferir de manera distal el movimiento de rotación (por ejemplo, desde una empuñadura en una porción extrema proximal del eje hasta un elemento de neuromodulación conectado operativamente al eje a través de una porción extrema distal del eje) con correspondencia cercana (por ejemplo, al menos aproximadamente una correspondencia de uno a uno). Además, o alternativamente, la rigidez torsional deseable puede incluir la capacidad del eje para transferir de manera distal el movimiento de rotación sin causar latigazos y/o una deformación diametral del eje. La deseable rigidez axial y torsional juntas pueden facilitar la transmisión predecible y controlada de la fuerza axial y torsional desde la porción extrema proximal del eje hacia la porción extrema distal del eje mientras se está utilizando un catéter de neuromodulación.

40

45

50

Un tubo hipodérmico (aguja) de metal, también conocido como hipotubo, se incorpora comúnmente en los ejes de pequeños diámetros de los catéteres médicos para utilizar las propiedades físicas de tipo de alambre de ese material junto con la luz utilizable que se extiende a través del mismo. Sin embargo, el tubo de metal de pared

sólida también tiene limitaciones conocidas con respecto a la flexibilidad y la resistencia al enroscamiento, y diversos diseños han utilizado hendiduras, ranuras u otras aberturas en la pared del tubo para lograr mejoras en la flexibilidad. Tales modificaciones a la estructura de la pared siempre han provocado riesgos de que las propiedades físicas de tensión, compresión y torsión resulten afectadas. Por lo tanto, en al menos algunos catéteres de neuromodulación convencionales, impartir flexibilidad puede requerir sacrificar innecesariamente la rigidez axial y/o la rigidez torsional. Por ejemplo, crear un corte helicoidal continuo en un hipotubo relativamente rígido de un eje tiende a aumentar la flexibilidad del eje, pero, en algunos casos, los arrollamientos resultantes entre las vueltas del corte también pueden tender a separarse hasta un grado no deseable en respuesta a la tensión en el eje y/o a la torsión en el eje en al menos una dirección circunferencial. En algunos casos, esta separación puede causar un cambio permanente o temporal en la longitud del eje (por ejemplo, un alargamiento no deseado del eje), una deformación diametral permanente o temporal del eje (por ejemplo, un aplanamiento no deseado de una sección transversal del eje), y/o latigazos torsionales. Dicho comportamiento del eje puede interferir con la navegación intravascular y/o tener otros efectos no deseables en los procedimientos de neuromodulación.

Debido, al menos en parte, a la flexibilidad mejorada en combinación con la rigidez axial y torsional deseable, los catéteres de neuromodulación configurados de acuerdo con al menos algunas realizaciones de la presente tecnología pueden ser adecuados para el suministro intravascular a ubicaciones de tratamiento (por ejemplo, ubicaciones de tratamiento en el interior de una arteria renal, o cerca de la misma, de un paciente humano) mediante aproximaciones transradiales (por ejemplo, aproximaciones que incluyen la arteria radial, la arteria subclavia y la aorta descendente). Las aproximaciones transradiales suelen ser más tortuosas y más largas que las aproximaciones femorales y al menos algunas otras aproximaciones comúnmente utilizadas. Las aproximaciones transradiales pueden ser deseables para acceder a cierta anatomía, pero otros tipos de aproximaciones (por ejemplo, aproximaciones femorales) pueden ser deseables en anatomía particularmente tortuosa o vasos con diámetros relativamente pequeños. En algunos casos, sin embargo, el uso de aproximaciones transradiales puede proporcionar ciertas ventajas sobre el uso de aproximaciones femorales. En algunos casos, por ejemplo, el uso de aproximaciones transradiales puede estar asociado con una mayor comodidad para el paciente, una disminución del sangrado y/o un sellado más rápido del sitio de punción percutánea con respecto al uso de aproximaciones femorales.

Además de facilitar el suministro intravascular mediante aproximaciones transradiales, o, en lugar de ello, los catéteres de neuromodulación configurados de acuerdo con al menos algunas de las realizaciones de la presente tecnología pueden ser adecuados para el suministro intravascular mediante una o más aproximaciones adecuadas, tales como otras aproximaciones adecuadas que son más cortas o más largas que las aproximaciones transradiales, y otras aproximaciones adecuadas que son menos tortuosas o más tortuosas que las aproximaciones transradiales. Por ejemplo, los catéteres de neuromodulación configurados de acuerdo con al menos algunas realizaciones de la presente tecnología pueden ser adecuados para el suministro intravascular a través de aproximaciones braquiales y/o aproximaciones femorales. Incluso cuando se utilizan con aproximaciones que son, en general, más cortas y/o menos tortuosas que las aproximaciones transradiales, la combinación de flexibilidad y la deseable rigidez axial y torsional asociada con los catéteres de neuromodulación configurados de acuerdo con al menos algunas realizaciones de la presente tecnología puede ser beneficiosa, tal como para absorber las diferencias anatómicas entre pacientes y/o para reducir el trauma vascular durante el suministro, entre otros beneficios potenciales.

Los detalles específicos de varias realizaciones de la presente tecnología se describen en este documento con referencia a las figuras 1 a 36. Aunque muchas de las realizaciones se describen en el presente documento con respecto a dispositivos, sistemas y métodos para la neuromodulación renal intravascular, otras aplicaciones y otras realizaciones además de las descritas en el presente documento están dentro del alcance de la presente tecnología. Por ejemplo, al menos algunas realizaciones pueden ser útiles para la neuromodulación intraluminal, para la neuromodulación extravascular, para la neuromodulación no renal y/o para su utilización en terapias distintas de la neuromodulación. Cabe señalar que otras realizaciones, además de las descritas en el presente documento, están dentro del alcance de la presente tecnología. Por ejemplo, en otras realizaciones adicionales, la tecnología descrita en el presente documento puede ser utilizada en dispositivos, sistemas y métodos para la colocación de endoprótesis y la angioplastia de balón. Además, las realizaciones de la presente tecnología pueden tener configuraciones, componentes y/o procedimientos diferentes de los que se muestran o describen en este documento. Además, un experto de nivel medio en la técnica comprenderá que las realizaciones de la tecnología actual pueden tener configuraciones, componentes y/o procedimientos además de los que se muestran o describen en este documento y que estas y otras realizaciones pueden ser sin varias de las configuraciones, componentes, y/o procedimientos mostrados o descritos en el presente documento sin desviarse de la tecnología actual.

Tal como se utiliza en este documento, los términos "distal" y "proximal" definen una posición o dirección con respecto a un médico o un dispositivo de control de un médico (por ejemplo, una empuñadura de un catéter de neuromodulación). Los términos, "distal" y "de manera distal" se refieren a una posición distante de o en una dirección que se aleja de un médico o, del dispositivo de control de un médico. Los términos "proximal" y "de manera proximal" se refieren a una posición cercana o en una dirección que se acerca a un médico, o a un dispositivo de control de un médico. Los encabezados proporcionados en este documento son solo por conveniencia y no deben ser interpretados como limitativos del asunto descrito.

Ejemplos seleccionados de catéteres de neuromodulación y dispositivos relacionados

La figura 1 es una vista, en perspectiva, parcialmente esquemática, que ilustra un sistema 100 terapéutico configurado de acuerdo con una realización de la presente tecnología. El sistema 100 puede incluir un catéter 102 de neuromodulación, una consola 104 y un cable 106 que se extiende entre ellos. El catéter 102 de neuromodulación puede incluir un eje alargado 108 que tiene una porción extrema proximal 108a y una porción extrema distal 108b. Una empuñadura 110 del catéter 102 de neuromodulación puede estar operativamente conectada al eje 108 a través de la porción de extremo proximal 108a, y un elemento 112 de neuromodulación (mostrado esquemáticamente) del catéter 102 de neuromodulación se puede conectar operativamente al eje 108 a través de la porción extrema distal 108b. El eje 108 se puede configurar para situar el elemento 112 de neuromodulación de manera intravascular en una ubicación de tratamiento dentro o cerca de un lumen corporal (por ejemplo, un vaso sanguíneo, un conducto, una vía aérea u otro lumen natural dentro del cuerpo humano), y el elemento 112 de neuromodulación se puede configurar para proporcionar o soportar un tratamiento de neuromodulación en la ubicación del tratamiento. El eje 108 y el elemento 112 de neuromodulación pueden tener una longitud de 0,67 mm, 1 mm, 1,33 mm, 1,67 mm, 2 mm, 2,33 mm (2 Fr, 3 Fr, 4 Fr, 5 Fr, 6 Fr, 7 Fr en la escala French) o una o más de otras longitudes adecuadas.

En algunas realizaciones, el suministro intravascular del catéter 102 de neuromodulación incluye la introducción percutánea de un alambre de guía (no mostrado) en el lumen del cuerpo de un paciente y el desplazamiento del eje 108 y del elemento 112 de neuromodulación a lo largo del alambre de guía hasta que el elemento 112 de neuromodulación alcanza un lugar de tratamiento adecuado. En otras realizaciones, el catéter 102 de neuromodulación puede ser un dispositivo orientable o no orientable configurado para su uso sin un alambre de guía. En otras realizaciones adicionales, el catéter 102 de neuromodulación se puede configurar para su suministro a través de un catéter de guía o vaina (no mostrada) o de otra manera adecuada.

La consola 104 se puede configurar para controlar, monitorizar, suministrar y/o soportar de otro modo el accionamiento del catéter 102 de neuromodulación. Alternativamente, el catéter 102 de neuromodulación puede ser autónomo o estar configurado de otro modo para el accionamiento sin conexión a la consola 104. Cuando está presente, la consola 104 se puede configurar para generar una forma y/o magnitud de energía seleccionada para el suministro al tejido en la ubicación del tratamiento a través del elemento 112 de neuromodulación (por ejemplo, a través de uno o más elementos de suministro de energía (no mostrados) del elemento 112 de neuromodulación). La consola 104 puede tener diferentes configuraciones dependiendo de la modalidad de tratamiento del catéter 102 de neuromodulación. Cuando el catéter 102 de neuromodulación está configurado para un tratamiento a base de electrodos, a base de un elemento de calor o a base de transductores, por ejemplo, la consola 104 puede incluir un generador de energía (no mostrado) configurado para generar energía de radiofrecuencia (RF) (por ejemplo, energía de RF monopolar y/o bipolar), energía pulsada, energía de microondas, energía óptica, energía de ultrasonidos (por ejemplo, ultrasonidos administrados por vía intravascular, ultrasonidos extracorpóreos y/o ultrasonidos enfocados de alta intensidad (HIFU – High Intensity Focused Ultrasound, en inglés), energía crioterapéutica, energía térmica directa, productos químicos (por ejemplo, fármacos y/u otros agentes), radiación (por ejemplo, radiación infrarroja, visible y/o gamma) y/u otro tipo adecuado de energía. Cuando el catéter 102 de neuromodulación está configurado para un tratamiento crioterapéutico, por ejemplo, la consola 104 puede incluir un depósito de refrigerante (no mostrado) y puede estar configurada para suministrar refrigerante al catéter 102 de neuromodulación. De manera similar, cuando el catéter 102 de neuromodulación está configurado para un tratamiento a base de productos químicos (por ejemplo, infusión de fármacos), la consola 104 puede incluir un depósito productos químicos (no mostrado) y puede ser configurado para suministrar al catéter 102 de neuromodulación uno o más productos químicos.

En algunas realizaciones, el sistema 100 incluye un dispositivo de control 114 a lo largo del cable 106. El dispositivo de control 114 se puede configurar para iniciar, terminar y/o ajustar el accionamiento de uno o más componentes del catéter 102 de neuromodulación, directamente y/o a través de la consola 104. En otras realizaciones, el dispositivo de control 114 puede estar ausente o puede tener otra ubicación adecuada (por ejemplo, en el interior de la empuñadura 110). La consola 104 se puede configurar para ejecutar un algoritmo de control 116 automatizado y/o recibir instrucciones de control de un profesional sanitario. Además, la consola 104 se puede configurar para proporcionar retroalimentación a un profesional sanitario antes, durante y/o después de un procedimiento de tratamiento por medio de un algoritmo de evaluación / retroalimentación 118.

La figura 2 es una vista lateral, parcialmente cortada, ampliada del eje 108, que ilustra un hipotubo 120 dispuesto concéntricamente en el interior de una pared exterior 121. El hipotubo 120 puede ser configurado para reforzar el eje 108 frente al colapso debido a una compresión lateral. Por ejemplo, el hipotubo 120 puede estar realizado de un material relativamente fuerte (por ejemplo, nitinol, acero inoxidable (por ejemplo, acero inoxidable 304) u otro metal adecuado). El hipotubo 120 puede estar alojado en el interior de todo el eje 108 o de una porción del mismo. En algunas realizaciones, por ejemplo, el hipotubo 120 solo puede estar dispuesto en una sección distal del eje 108, y una sección proximal del eje 108 puede tener una disposición y/o configuración diferente. Los tubos realizados de materiales relativamente fuertes tienden a ser relativamente rígidos (por ejemplo, resistentes a la flexión) cuando no están modificados. Para aumentar la flexibilidad del catéter 102 de neuromodulación, el eje 108 puede incluir un corte 122 que se extiende, al menos parcialmente, a través del grosor de la pared del hipotubo 120, de la pared exterior 121 o de otra porción adecuada del eje 108. Por ejemplo, el eje 108 puede tener un eje

longitudinal 124 y el corte 122 puede seguir una trayectoria helicoidal 126 que se extiende alrededor del eje longitudinal 124 (por ejemplo, una forma enrollada, en espiral u otra forma similar que tenga dos o más vueltas separadas de manera coherente o variable a lo largo del eje longitudinal 124). El corte 122 puede ser continuo o discontinuo a lo largo de la trayectoria helicoidal 126. Además, el eje 108 puede estar cortado a lo largo de más de una trayectoria helicoidal (por ejemplo, una doble hélice que tiene dos o más trayectorias helicoidales que tienen el mismo "sentido de giro" o quiralidad y separadas a lo largo del eje longitudinal 124). El corte 122 se puede formar, por ejemplo, utilizando grabado por láser, mecanizado por descarga eléctrica, grabado químico u otras técnicas adecuadas. En una realización particular, el hipotubo 120 tiene un diámetro exterior de 0,813 mm (0,032 pulgadas) y un diámetro interior de 0,635 mm (0,025 pulgadas). En otras realizaciones, el hipotubo 120 puede tener otras dimensiones adecuadas.

La figura 3 es una representación bidimensional de la trayectoria helicoidal 126 yuxtapuesta con un segmento correspondiente 127 del eje 108. En particular, la figura 3 es una representación de la trayectoria helicoidal 126 y del correspondiente segmento 127 del eje 108, correspondiendo el eje x en la figura 3 al eje longitudinal 124 del eje 108, y correspondiendo el eje y en la figura 3 a la circunferencia del eje 108. En otras palabras, la figura 3 ilustra la trayectoria helicoidal 126 como si el segmento 127 del eje 108 se alineara con el eje x y se desenrollase a lo largo del eje y con la trayectoria helicoidal 126 desenrollándose en una cinta plana o formando una imagen impresa a medida que el segmento 127 del eje 108 se enrolla. Tal como se representa en la figura 3, la trayectoria helicoidal 126 puede incluir una primera porción 126a, una segunda porción 126b y una tercera porción 126c (dispuestas de distal a proximal). La primera porción 126a, la segunda porción 126b y la tercera porción 126c se pueden extender alrededor de porciones del eje longitudinal 124 correspondientes a una primera porción 127a, a una segunda porción 127b y a una tercera porción 127c del segmento 127, respectivamente. En algunas realizaciones, la primera porción 127a es distal a las porciones segunda y tercera 127b, 127c, y la segunda porción 127b está entre las porciones primera y tercera 127a, 127c. En otras realizaciones, las porciones primera, segunda y tercera 127a a 127c pueden invertirse o tener otra disposición adecuada. Las porciones primera, segunda y tercera 127a a 127c pueden ser directamente adyacentes entre sí o estar separadas una de otra a lo largo del eje longitudinal 124. Además, la primera porción 127a puede ser directamente adyacente o estar separada de una porción más distal del eje 108 (por ejemplo, una unión entre el eje 108 y el elemento 112 de neuromodulación), y la tercera porción 127c puede ser directamente adyacente o estar separada de una porción más proximal del eje 108 (por ejemplo, una unión entre el eje 108 y la empuñadura 110).

Tal como se muestra en la figura 3, las porciones primera, segunda y tercera 126a a 126c de la trayectoria helicoidal 126 pueden tener diferentes pendientes cuando son transpuestas bidimensionalmente. Estas pendientes pueden corresponder a la densidad axial (por ejemplo, frecuencia o ángulo de inclinación) de las características (por ejemplo, vueltas, formas, tipos, tamaños, dimensiones u otras características adecuadas) del corte 122 a lo largo del eje longitudinal 124. Por ejemplo, la primera porción 126a puede tener una pendiente mayor que la segunda porción 126b, y la tercera porción 126c puede ser curvada con una pendiente que cambia gradualmente entre las pendientes de las porciones primera y segunda 126a, 126b. En consecuencia, el corte 122 puede tener una mayor densidad axial de características en una porción del eje longitudinal 124 correspondiente a la primera porción 127a del segmento 127 que a lo largo de una porción del eje longitudinal 124 correspondiente a la tercera porción 127c del segmento 127. De manera similar, la densidad axial de características del corte 122 a lo largo del eje longitudinal 124 puede aumentar gradualmente o de otra manera adecuada a lo largo de la segunda porción 127b desde la tercera porción 127c hacia la primera porción 127a. Por ejemplo, aumentar gradualmente o de otro modo la transición de la densidad axial de vueltas, formas, pendiente, tipo, tamaño / dimensión u otras características adecuadas del corte 122 puede reducir la tensión focalizada sobre el eje 108, lo que puede reducir o eliminar el enroscamiento u otro comportamiento indeseable del eje 108 durante el movimiento (por ejemplo, la flexión).

Variando la densidad axial de características del corte 122, diferentes segmentos del eje 108 pueden tener diferentes niveles de flexibilidad. Por ejemplo, con referencia a las figuras 1 a 3 en conjunto, una mayor densidad axial de características puede corresponder a una mayor flexibilidad que una menor densidad axial de características. En algunos casos, una distancia a lo largo del eje longitudinal 124 entre el elemento 112 de neuromodulación y el segmento 127 o una porción del mismo (por ejemplo, la porción primera, segunda o tercera 127a a 127c) puede ser seleccionada de tal manera que el segmento 127 o una porción del mismo tiende a estar dispuesta en una ubicación anatómica particular o cerca de la misma cuando el catéter 102 de neuromodulación está en uso. Por ejemplo, la distancia a lo largo del eje longitudinal 124 entre el elemento 112 de neuromodulación y el segmento 127 o una porción del mismo puede ser seleccionado de tal manera que el segmento o una porción del mismo tiende a estar al menos próximo a una región anatómica relativamente aguda o de otro modo relativamente tortuosa de una aproximación (por ejemplo, una aproximación transradial u otra adecuada) cuando el elemento 112 de neuromodulación se encuentra en una ubicación de tratamiento seleccionada (por ejemplo, una ubicación de tratamiento en el interior de una arteria renal de un paciente humano o cerca de la misma). La región con un ángulo relativamente agudo o por lo demás relativamente tortuosa, por ejemplo, puede ser una región en el interior de una arteria subclavia o cerca de la misma (por ejemplo, una porción de una arteria subclavia adyacente a la aorta descendente), un ostium de una arteria renal u otra característica anatómica adecuada. La densidad axial de características del corte 122 a lo largo de la longitud del eje 108 y las flexibilidades relativas del eje 108 a lo largo de su longitud se pueden seleccionar para facilitar la cateterización transradial o el despliegue del catéter 102

de neuromodulación mediante otro método adecuado. En algunas realizaciones, una densidad axial de características del corte 122 a lo largo del eje longitudinal 124 varía a lo largo de la longitud del eje 108 (por ejemplo, para adaptar el eje 108 a la tortuosidad o a otra geometría de diferentes porciones de una aproximación transradial u otra adecuada). En otras realizaciones, la densidad axial de características del corte 122 puede ser constante a lo largo de la longitud del eje 108 (por ejemplo, para aumentar la flexibilidad general del eje 108). Estos conceptos se explican con más detalle a continuación con referencia a las figuras 6 a 11.

La figura 4 es una representación bidimensional de una porción del corte 122 en la primera porción 126a de la trayectoria helicoidal 126. Dicha representación bidimensional es como si el eje estuviese enrollado sobre una superficie plana para dejar una huella de la forma cortada en la misma. En algunos casos, este tipo de representación bidimensional se puede utilizar como entrada para un proceso de fabricación automatizado que se utiliza para formar formas cortadas a lo largo de una trayectoria en una pieza de trabajo tubular. Con referencia a las figuras 2 a 4 en conjunto, el eje 108 puede incluir dos o más primeras formas cortadas 128 y dos o más segundas formas cortadas 130 intercaladas a lo largo de la trayectoria helicoidal 126, formando las formas cortadas primera y segunda 128, 130 porciones del corte 122. Las primeras formas cortadas 128 se pueden configurar para interconectarse al menos parcialmente para resistir de este modo la deformación en respuesta a un conjunto de tres tipos de fuerza que actúan sobre el eje 108, y las segundas formas cortadas 130 se pueden configurar para interconectarse al menos parcialmente para resistir de este modo la deformación en respuesta a un conjunto diferente, complementario de tres tipos de fuerza que actúan sobre el eje 108. Los conjuntos pueden ser diferentes combinaciones de (a) compresión a lo largo del eje longitudinal 124, (b) tensión a lo largo del eje longitudinal 124, (c) torsión en una primera dirección circunferencial perpendicular al eje longitudinal 124, y (d) torsión en una segunda dirección circunferencial opuesta, perpendicular al eje longitudinal 124. Por ejemplo, las primeras formas cortadas 128 se pueden configurar para resistir al menos parcialmente una deformación de resistencia, en respuesta a la compresión en el eje 108, la tensión en el eje 108 y la torsión en el eje 108 en la primera dirección circunferencial, y las segundas formas cortadas 130 se pueden configurar para resistir al menos parcialmente la deformación en respuesta a la compresión en el eje 108, la torsión en el eje 108 en la primera dirección circunferencial, y la torsión en el eje 108 en una segunda dirección circunferencial opuesta a la primera dirección circunferencial. Las primeras formas cortadas 128 pueden ser menos resistentes a la deformación en respuesta a la torsión en el eje 108 en la segunda dirección circunferencial que las segundas formas cortadas 130. De manera similar, segundas formas cortadas 130 pueden ser menos resistentes a la deformación en respuesta a la tensión en el eje 108 que las primeras formas cortadas 128. Trabajando juntas, las formas cortadas primera y segunda 128, 130 pueden proporcionar al eje 108 una resistencia suficiente a la deformación en respuesta a todos los tipos de fuerza axial y torsional que pueden actuar sobre el eje 108 durante la utilización del catéter 102 de neuromodulación.

En algunas realizaciones, las formas cortadas primera y segunda 128, 130 son sinusoidales y tienen amplitudes con diferentes orientaciones (por ejemplo, perpendiculares) con respecto al eje longitudinal 124. En otras realizaciones, las formas cortadas primera y segunda 128, 130 pueden tener otras formas adecuadas. Por ejemplo, tal como se muestra en la figura 4, las primeras formas cortadas 128 individuales pueden incluir un primer pico 132 (por ejemplo, un primer dedo) y un segundo pico 134 (por ejemplo, un segundo dedo) con una primera interfaz 136 entre ellos. La primera interfaz 136 puede ser perpendicular al eje longitudinal 124 (figura 2). Las segundas formas cortadas 130 individuales pueden incluir un tercer pico 138 (por ejemplo, un tercer dedo) y un cuarto pico 139 (por ejemplo, un cuarto dedo) con una segunda interfaz 140 entre ellos. La segunda interfaz 140 puede ser paralela al eje longitudinal 124. Alternativamente, las interfaces primera y segunda 136, 140 pueden tener otros ángulos adecuados con respecto al eje longitudinal 124, como otros ángulos adecuados en los que un ángulo entre la primera interfaz 136 y el eje longitudinal 124 es mayor que un ángulo entre la segunda interfaz 140 y el eje longitudinal 124. Además, en algunas o en todas las formas del primer corte 128, las orientaciones de los picos primero y segundo 132, 134 se pueden invertir y/o en algunas o en todas las segundas formas cortadas 130 en las orientaciones de los picos tercero y cuarto 138, 139 se pueden invertir. Por ejemplo, tal como se representa en la figura 4, los picos primero y segundo 132, 134 se extienden verticalmente hacia abajo y hacia arriba, respectivamente, y los picos tercero y cuarto 138 y 139 se extienden hacia la derecha y hacia la izquierda, respectivamente. En otras realizaciones, los picos primero y segundo 132, 134 se pueden extender verticalmente hacia arriba y hacia abajo, respectivamente, y los picos tercero y cuarto 138, 139 se pueden extender hacia la izquierda y hacia la derecha, respectivamente. Otras formas cortadas con quiralidad descritas en este documento pueden ser modificadas de manera similar. Con referencia de nuevo a la figura 4, las formas cortadas primera y segunda 128, 130 se pueden configurar para resistir, al menos parcialmente, la deformación, en respuesta a fuerzas perpendiculares a las interfaces primera y segunda 136, 140, respectivamente. Por ejemplo, dichas fuerzas pueden hacer que los picos primero y segundo 132, 134 o los picos tercero y cuarto 138, 139 se intercalen, al menos parcialmente, y de este modo impidan o reduzcan la ampliación del corte 122.

La figura 5 es una representación bidimensional de una porción del corte 122 en la segunda porción 126b de la trayectoria helicoidal 126. Con referencia a las figuras 2, 3 y 5 en conjunto, una longitud media de las primeras interfaces 136, una longitud media de las segundas interfaces 140, o ambas pueden ser diferentes en diferentes porciones de la trayectoria helicoidal 126. Por ejemplo, la longitud media de las segundas interfaces 140 puede ser mayor entre las segundas formas cortadas 130 a lo largo de la tercera porción 126c de la trayectoria helicoidal 126 y la tercera porción 127c del segmento 127 del eje 108 que entre las segundas formas cortadas 130 a lo largo de la

primera porción 126a de la trayectoria helicoidal 126 y de la primera porción 127a del segmento 127. En algunos casos, la longitud media de las primeras interfaces 136, las segundas interfaces 140, o ambas, se seleccionan en base a diferentes densidades axiales de características del corte 122 en diferentes segmentos del eje 108. Por ejemplo, cuando la densidad axial es mayor, las longitudes de las interfaces primera y segunda 136, 140 pueden ser más limitadas que cuando la densidad axial es menor (por ejemplo, para evitar la superposición en vueltas adyacentes).

En al menos algunos casos, mejorar la flexibilidad de un eje utilizando un corte helicoidal puede reducir la rigidez axial y torsional del eje hasta cierto punto, incluso cuando están presentes formas cortadas o características configuradas de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología. En consecuencia, puede ser útil incluir un corte a lo largo de un segmento de un eje que se pretende que se extienda a través de una anatomía particularmente tortuosa, mientras deja otro segmento del eje sin cortar o tiene un corte que imparte relativamente poca flexibilidad al eje. De este modo, mientras que la rigidez axial y torsional del eje se puede comprometer en cierto grado en favor de una mayor flexibilidad a lo largo de una porción del eje para el cual se necesita la mayor flexibilidad, el grado en el que resulta comprometida la rigidez axial y torsional general del eje se puede minimizar o, al menos, reducir.

La figura 6, por ejemplo, es una vista parcialmente esquemática de un catéter 141 de neuromodulación que incluye un eje 142 que tiene segmentos del eje primero y segundo 143, 144 con diferentes flexibilidades configuradas de acuerdo con una realización de la presente tecnología. El segundo segmento del eje 144 puede ser proximal al primer segmento del eje 143 y puede ser menos flexible (por ejemplo, más resistente a la flexión en respuesta a una fuerza lateral) que el primer segmento del eje 143. La utilidad de la flexibilidad mejorada puede tender a disminuir de manera proximal. Por ejemplo, en una aproximación transradial, puede ser necesario extender el primer segmento del eje 143 a través de una unión entre una arteria subclavia y la aorta descendente con el fin de suministrar el elemento 112 de neuromodulación a una ubicación de tratamiento dentro de una arteria renal de un paciente. En contraste, el segundo segmento del eje 144 puede permanecer proximal a esta unión. En algunas realizaciones, el eje 142 incluye un corte (no mostrado) en el primer segmento del eje 143 y un corte diferente (no mostrado) en el segundo segmento del eje 144 que imparte significativamente menos flexibilidad al eje 142 que el corte en el primer segmento del eje 143. En otras realizaciones, el primer segmento del eje 143, el segundo segmento del eje 144, o ambos, pueden estar sin cortar. Este puede ser el caso, por ejemplo, cuando las flexibilidades relativas de los segmentos del eje primero y segundo 143, 144 están influenciadas por factores adicionales o en lugar de la presencia de cortes.

La ubicación de una transición entre los segmentos del eje primero y segundo 143, 144 se puede seleccionar de tal manera que el segundo segmento del eje 144 permanezca próximo a la arteria subclavia cuando el eje 142 se extiende a lo largo de una aproximación transradial. En algunas realizaciones, los segmentos del eje primero y segundo 143, 144 juntos forman toda la longitud del eje 142 desde la empuñadura 110 al elemento 112 de neuromodulación. Sin embargo, en otras realizaciones, el eje 142 puede incluir segmentos adicionales. El primer segmento del eje 143 puede ser directamente adyacente o, por lo demás, próximo (por ejemplo, en un rango de unos 3 cm (1,181 pulgadas) de) al elemento 112 de neuromodulación. El segundo segmento del eje 144 puede ser directamente adyacente a la empuñadura 110, o de alguna otra forma próximo (por ejemplo, en un rango de aproximadamente 3 cm (1,181 pulgadas)) a la misma. En algunas realizaciones, el primer segmento del eje 143 tiene una longitud comprendida entre aproximadamente 30 cm (11,81 pulgadas) y aproximadamente 80 cm (31,5 pulgadas) (por ejemplo, comprendida entre aproximadamente 40 cm (15,75 pulgadas) y aproximadamente 70 cm (27,56 pulgadas) y el segundo segmento del eje 144 tiene una longitud mayor de aproximadamente 40 cm (15,75 pulgadas) (por ejemplo, mayor de aproximadamente 50 cm (19,69 pulgadas)). En una realización particular, el primer segmento del eje 143 tiene una longitud de aproximadamente 50 cm (19,69 pulgadas) y el segundo segmento del eje 144 tiene una longitud de aproximadamente 80 cm (31,5 pulgadas). En otras realizaciones, los segmentos del eje primero y segundo 143, 144 pueden tener otras longitudes adecuadas.

Tal como se explicó anteriormente con referencia a la figura 3, el cambio de la densidad axial de características de un corte puede cambiar la flexibilidad de un eje, incluido el corte. Con referencia de nuevo a la figura 6, el eje 142 puede incluir un corte que tenga una mayor densidad axial de características en el primer segmento del eje 143 que en el segundo segmento del eje 144. Por ejemplo, la densidad axial de características en el segundo segmento del eje 144 puede ser relativamente baja cuando el segundo segmento del eje 144 se corta de una manera que imparte relativamente poca flexibilidad al eje 142, o la densidad axial puede ser cero cuando el segundo segmento del eje 144 está sin cortar. La transición del primer segmento del eje 143 al segundo segmento del eje 144 puede ser gradual o brusca. Tal como se explicó anteriormente con referencia a la figura 3, una transición gradual en la densidad axial puede reducir la tensión focalizada y, por lo tanto, reducir el enroscamiento u otro comportamiento no deseado durante el movimiento (por ejemplo, flexión) del eje 142. Dicha transición gradual puede incluir, por ejemplo, cambiar la densidad axial de características de manera continua o incremental.

La figura 7A es una representación bidimensional de una trayectoria helicoidal 146 yuxtapuesta con el primer segmento del eje 143 mostrada en la figura 6. De manera similar a la trayectoria helicoidal 126 mostrada en la figura 3, la pendiente de la trayectoria helicoidal 146, cuando se transpone bidimensionalmente, puede corresponder a una densidad axial de características a lo largo de un eje longitudinal 145 del eje 142. La trayectoria helicoidal 146 puede tener porciones 146a a 146c (dispuestas de distal a proximal) correspondientes,

respectivamente, a las porciones 143a a 143c del primer segmento del eje 143. La figura 7B es una ampliación de una porción de la figura 7A que ilustra cambios en la pendiente a lo largo de la trayectoria helicoidal 146. Tal como se muestra en la figura 7A, la pendiente de la trayectoria helicoidal 146 puede ser coherente a lo largo de la porción 146a en un primer valor, coherente a lo largo de la porción 146b en un segundo valor menor, y coherente a lo largo de la porción 146c en un tercer valor aún menor. El primer valor puede estar comprendido, por ejemplo, entre aproximadamente 15 grados y aproximadamente 40 grados. El segundo valor puede estar comprendido, por ejemplo, entre aproximadamente 2 grados y aproximadamente 6 grados menos que el primer valor. De manera similar, el tercer valor puede estar comprendido, por ejemplo, entre aproximadamente 2 grados y aproximadamente 6 grados menos que el segundo valor. En una realización particular, el primer valor es aproximadamente 40 grados, el segundo valor es aproximadamente 36 grados y el tercer valor es aproximadamente 32 grados. La longitud de la porción 143a puede estar comprendida, por ejemplo, entre aproximadamente 20 cm (7,874 pulgadas) y aproximadamente 70 cm (27,56 pulgadas), o entre aproximadamente 30 cm (11,81 pulgadas) y aproximadamente 60 cm (23,62 pulgadas). Las longitudes de las porciones 143b, 143c individuales pueden estar comprendidas, por ejemplo, entre aproximadamente 2 cm (0,7874 pulgadas) y aproximadamente 7 cm (2,756 pulgadas). En una realización particular, la longitud de la porción 143a es 40 cm (15,75 pulgadas) y las longitudes de las porciones individuales son 5 cm (1,969 pulgadas). En otras realizaciones, la trayectoria helicoidal 146, el eje 142 y sus porciones pueden tener otras dimensiones adecuadas, tales como dimensiones comprendidas entre aproximadamente el 10 %, el 20 % o el 30 % de las dimensiones en la realización ilustrada.

Las figuras 8, 9 y 10 son representaciones bidimensionales de diferentes porciones de un corte 147 que se extienden a lo largo de la trayectoria helicoidal 146. Las porciones del corte 147 mostradas en las figuras 8, 9 y 10 pueden ser posicionadas en las porciones 146a, 146b, 146c de la trayectoria helicoidal 146, respectivamente. Las características del corte 147 pueden ser similares a las características descritas anteriormente con referencia a la figura 5. Tal como se muestra en la figura 8, el corte 147 puede tener dimensiones A-1, B-1, C-1 y D-1 en la porción 146a de la trayectoria helicoidal 146. Tal como se muestra en la figura 9, el corte 147 puede tener las dimensiones A-2, B-2, C-2 y D-2 en la porción 146b de la trayectoria helicoidal 146. Tal como se muestra en la figura 10, el corte 147 puede tener las dimensiones A-3, B-3, C-3 y D-3 en la porción 146c de la trayectoria helicoidal 146. En la realización ilustrada, A-1 es 0,813 mm (0,032 pulgadas); A-2 y A-3, individualmente, son 0,09144 cm (0,036 pulgadas); B-1, B-2 y B-3, individualmente, son 0,02286 cm (0,009 pulgadas); C-1 es 0,3048 cm (0,120 pulgadas); C-2 es 0,381 cm (0,150 pulgadas); C-3 es 0,3429 cm (0,135 pulgadas); D-1 es 40 grados; D-2 es 32 grados; D-3 es 36 grados; el radio de curvatura del corte 147 en los extremos de los picos primero, segundo, tercero y cuarto 132, 134, 138, 139 individuales es de 0,0127 cm (0,005 pulgadas); y el radio de curvatura del corte 147 en el que las primeras formas cortadas 128 se encuentran con la trayectoria helicoidal 146 hacia una segunda forma cortada adyacente 130 es de 0,0254 cm (0,010 pulgadas). En otras realizaciones, el corte 147 puede tener otras dimensiones adecuadas, tales como dimensiones comprendidas entre aproximadamente el 10 %, el 20 % o el 30 % de las dimensiones en la realización ilustrada. El ancho del corte 147 puede estar comprendido, por ejemplo, entre aproximadamente 0,001016 cm (0,0004 pulgadas) y aproximadamente 0,003556 cm (0,0014 pulgadas), entre aproximadamente 0,001524 cm (0,0006 pulgadas) y aproximadamente 0,003048 cm (0,0012 pulgadas), o estar dentro de otro rango adecuado.

A-1 puede ser menor que A-2 y A-3. De manera similar, la longitud de la segunda interfaz 140 en la porción 146a de la trayectoria helicoidal 146 puede ser menor que la longitud de la segunda interfaz 140 en las porciones 146b, 146c de la trayectoria helicoidal 146. Tal como se explicó anteriormente con referencia a la figura 5, esto puede ser útil, por ejemplo, para mantener una separación adecuada entre las segundas formas cortadas 130 en las vueltas adyacentes del corte 147 cuando la densidad axial de características es relativamente alta. En algunas realizaciones, las longitudes de las segundas interfaces 140 aumentan bruscamente en una dirección proximal a lo largo del eje longitudinal 145. En otras realizaciones, las longitudes de las segundas interfaces 140 pueden aumentar gradualmente en una dirección proximal a lo largo del eje longitudinal 145. Por ejemplo, las longitudes de las segundas interfaces 140 se pueden incrementar de manera general a lo largo de toda la longitud del primer segmento del eje 143 o de una porción de la misma. En otras realizaciones, las longitudes de las segundas interfaces 140 pueden permanecer coherentes.

Las figuras 11, 12A, 17, 19, 21, 23 y 24A son representaciones bidimensionales de las trayectorias helicoidales 148, 151, 156, 162, 180, 193, 300 respectivamente, yuxtapuestas con los segmentos correspondientes del eje 149, 153, 158, 164, 182, 194, 302 respectivamente, de acuerdo con varias realizaciones de la presente tecnología. La figura 12B es una ampliación de una porción de la figura 12A que ilustra cambios en la pendiente a lo largo de la trayectoria helicoidal 151. Las figuras 13 a 16 son representaciones bidimensionales de diferentes porciones de un corte 154 que se extienden a lo largo de la trayectoria helicoidal 151. Las figuras 18, 20, 22, 24 y 24B son representaciones bidimensionales de porciones de los cortes 160, 166, 184, 195, 304 respectivamente, que se extienden a lo largo de las trayectorias helicoidales 156, 162, 180, 193, 300, respectivamente.

Con respecto a la trayectoria helicoidal 126 mostrada en la figura 3, las trayectorias helicoidales 146, 148, 151, 156, 162, 180, 193, 300 mostradas en las figuras 7A, 11, 12A, 17, 19, 21, 23 y 24A ilustran varios ejemplos adicionales de transiciones en densidades axiales de características a lo largo de los ejes longitudinales 145 correspondientes a segmentos del eje. En la realización ilustrada en la figura 7A, la pendiente de la trayectoria helicoidal 146 disminuye de manera proximal en dos etapas. En otras realizaciones, la pendiente de una trayectoria helicoidal puede disminuir aproximadamente en más de dos etapas (por ejemplo, tres etapas, cuatro etapas o un

número mayor de etapas). Por ejemplo, en la realización ilustrada en la figura 12A, la pendiente de la trayectoria helicoidal 151 disminuye de manera proximal en tres etapas. Del mismo modo, en la realización ilustrada en la figura 17, la pendiente de la trayectoria helicoidal 151 disminuye de manera proximal en siete etapas. En aún otras realizaciones, la pendiente de una trayectoria helicoidal puede disminuir de manera proximal de una manera continua o casi continua, de tal modo que toda la trayectoria helicoidal, o una porción de la misma, esté curvada. Por ejemplo, tal como se muestra en la figura 11, en lugar de disminuir en etapas, la pendiente de la trayectoria helicoidal 148 disminuye de manera continua en una dirección proximal a lo largo de toda la longitud del segmento correspondiente del eje 149.

Cuando una trayectoria helicoidal disminuye en etapas, las ubicaciones de las etapas a lo largo del eje longitudinal 145 del segmento del eje correspondiente pueden tener varias posiciones adecuadas. Como ejemplo, en la realización ilustrada en la figura 7A, la porción 143a del primer segmento del eje 143 se extiende sobre la mitad de la longitud del primer segmento del eje 143. Las porciones 143b, 143c del primer segmento del eje 143 son de igual longitud y, juntas, abarcan menos de un cuarto de la longitud del primer segmento del eje 143. Como ejemplo adicional, en la realización ilustrada en la figura 12A, las porciones 153a a 153d del segmento del eje 153 tienen, cada una, diferentes longitudes a lo largo del eje longitudinal 145 del segmento del eje 153, disminuyendo sus longitudes de manera proximal desde la porción 153a hasta la porción 153d. De manera similar, en la realización ilustrada en la figura 19, cada una de las porciones 164a a 164c del segmento del eje 164 tienen longitudes diferentes a lo largo del eje longitudinal 145 del segmento del eje 164, disminuyendo sus longitudes de manera proximal desde la porción 164a hasta la porción 164c. De manera similar, en la realización ilustrada en la figura 21, cada una de las porciones 182a a 182c del segmento del eje 182 tienen longitudes diferentes a lo largo del eje longitudinal 145 del segmento del eje 182, disminuyendo sus longitudes aproximadamente desde la porción 182a a la porción 182c. Asimismo, de manera similar, en la realización ilustrada en la figura 23, cada una de las porciones 194a, 194c del segmento del eje 194 tienen longitudes diferentes a lo largo del eje longitudinal 145 del segmento del eje 194, disminuyendo sus longitudes de manera proximal desde la porción 194a hasta la porción 194c. Como ejemplo adicional, en la realización ilustrada en la figura 17, las porciones 158a a 158h del segmento del eje 158 tienen aproximadamente longitudes iguales a lo largo del eje longitudinal 145 del segmento del eje 158.

En la realización mostrada en la figura 12A, las pendientes de la trayectoria helicoidal 151 a lo largo de sus porciones 151a, 151b, 151c y 151d son 36 grados, 32,5 grados, 27 grados y 23 grados, respectivamente, y las longitudes de las porciones 153a, 153b, 153c y 153d del segmento del eje 153 tienen 30 cm (11,812 pulgadas), 9,855 cm (3,880 pulgadas), 5,885 cm (2,317 pulgadas) y 4,092 cm (1,611 pulgadas), respectivamente. En la realización mostrada en la figura 17, las pendientes de la trayectoria helicoidal 156 a lo largo de sus porciones 156a, 156b, 156c, 156d, 156e, 156f, 156g y 156h son 36 grados, 32 grados, 27 grados y 23 grados, 20 grados, 17,7 grados, 15,8 grados y 15 grados, respectivamente, y las longitudes de las porciones 158a, 158b, 158c, 158d, 158e, 158f y 158g del segmento del eje 158 son 65 mm (2,559 pulgadas), 62,2 mm (2,449 pulgadas), 62,5 mm (2,461 pulgadas), 62,5 mm (2,461 pulgadas), 62,6 mm (2,465 pulgadas), 62,5 mm (2,461 pulgadas), 62,5 mm (2,461 pulgadas) y 62,5 mm (2,461 pulgadas), respectivamente. En la realización mostrada en la figura 19, las pendientes de la trayectoria helicoidal 162 a lo largo de sus porciones 162a, 162b y 162c son 36 grados, 32 grados y 27 grados, respectivamente, y las longitudes de las porciones 164a, 164b y 164c del segmento del eje 164 son 180 mm (7,087 pulgadas), 174 mm (6,85 pulgadas) y 146 mm (5,748 pulgadas), respectivamente. En la realización mostrada en la figura 21, las pendientes de la trayectoria helicoidal 180 a lo largo de sus porciones 180a, 180b y 180c son 29,5 grados, 27 grados y 24,9 grados, respectivamente, y las longitudes de las porciones 182a, 182b y 182c del segmento del eje 182 son 179 mm (7,047 pulgadas), 174 mm (6,85 pulgadas) y 145 mm (5,709 pulgadas), respectivamente. De manera similar a la realización mostrada en la figura 21, en la realización mostrada en la figura 23, las pendientes de la trayectoria helicoidal 193 a lo largo de sus porciones 193a, 193b y 193c son 29,5 grados, 27 grados y 24,9 grados, respectivamente, y las longitudes de las porciones 194a, 194b y 194c del segmento del eje 194 son 179 mm (7,047 pulgadas), 174 mm (6,85 pulgadas) y 145 mm (5,709 pulgadas), respectivamente. En otras realizaciones, las trayectorias helicoidales 151, 156, 162, 180, 193, 300 pueden tener otras dimensiones adecuadas, tales como dimensiones comprendidas entre aproximadamente el 10 %, el 20 % o el 30 % de las dimensiones en las realizaciones ilustradas.

Con referencia a las figuras 12A a 16, las porciones del corte 154 mostradas en las figuras 13, 14, 15 y 16, respectivamente, pueden estar posicionadas en las porciones 153a, 153b, 153c y 153d, respectivamente, del segmento del eje 153. Las características del corte 154 pueden ser similares a las características descritas anteriormente con referencia a las figuras 5 y 8 a 10. Por ejemplo, tal como se muestra en la figura 13, el corte 154 puede tener dimensiones A-4, B-4, C-4 y D-4 en la porción 151a de la trayectoria helicoidal 151. Tal como se muestra en la figura 14, el corte 154 puede tener dimensiones A-5, B-5, C-5 y D-5 en la porción 151b de la trayectoria helicoidal 151. Tal como se muestra en la figura 15, el corte 154 puede tener las dimensiones A-6, B-6, C-6 y D-6 en la porción 151c de la trayectoria helicoidal 151. Tal como se muestra en la figura 16, el corte 154 puede tener dimensiones A-7, B-7, C-7 y D-7 en la porción 151d de la trayectoria helicoidal 151. En la realización ilustrada, A-4 y A-5 son de 0,0762 cm; (0,030 pulgadas) individualmente; A-6 es de 0,0889 cm (0,035 pulgadas); A-7 es de 0,1143 cm (0,045 pulgadas); B-4, B-5, B-6 y B-7 son de individualmente 0,0381 cm (0,015 pulgadas); C-4, C-5 y C-6 son de individualmente 0,508 cm (0,200 pulgadas); C-7 es de 0,635 cm (0,250 pulgadas); D-5 es de 36 grados (que corresponde a una etapa de 3,5 mm (0,1378 pulgadas) por vuelta); D-6 es de 32,5 grados (que corresponde a una etapa de 4,0 mm (0,1575 pulgadas) por vuelta); D-7 es de 27 grados (que corresponde a una

etapa de 5,0 mm (0,1969 pulgadas) por vuelta); D-8 es de 23 grados (que corresponde a una etapa de 6,0 mm (0,2362 pulgadas) por vuelta); las porciones 151a, 151b, 151c y 151d de la trayectoria helicoidal 151 incluyen 73, 23, 13 y 7 pares, respectivamente, de las formas cortadas primera y segunda 128, 130; el radio de curvatura del corte 154 en los extremos de los picos primero, segundo, tercero y cuarto 132, 134, 138, 139 individuales es de 0,02032 cm (0,008 pulgadas); y el radio de curvatura del corte 154 en el que la segunda forma cortada 130 se encuentra con la trayectoria helicoidal 151 hacia una segunda forma cortada adyacente 130 es de 0,0254 cm (0,010 pulgadas). En otras realizaciones, el corte 154 puede tener otras dimensiones adecuadas, tales como dimensiones comprendidas entre aproximadamente el 10 %, el 20 % o el 30 % de las dimensiones en la realización ilustrada. El ancho del corte 154 puede estar comprendido, por ejemplo, entre aproximadamente 0,001016 cm (0,0004 pulgadas) y aproximadamente 0,003556 cm (0,0014 pulgadas), entre aproximadamente 0,001524 cm (0,0006 pulgadas) y aproximadamente 0,003048 cm (0,0012 pulgadas), o estar comprendido en otro rango adecuado.

Las características del corte 160 mostradas en la figura 18 pueden ser similares a las características descritas anteriormente con referencia a las figuras 5, 8 a 10, y 13 a 16. Por ejemplo, tal como se muestra en la figura 18, el corte 160 puede tener dimensiones D-8, E-8, F-8 y G-8. En la realización ilustrada, en las porciones 156a, 156b, 156c, 156d, 156e, 156f, 156g y 156h individuales de la ruta helicoidal 156, D-8 es de 36 grados (que corresponde a una etapa de 3,5 mm (0,1378 pulgadas) por vuelta), 32 grados (que corresponde a una etapa de 4,0 mm (0,1575 pulgadas) por vuelta), 27 grados (que corresponde a una etapa de 5,0 mm (0,1969 pulgadas) por vuelta), 23 grados (que corresponde a una etapa de 6,0 mm (0,2362 pulgadas) por vuelta), 20 grados (que corresponde a una etapa de 7,0 mm (0,2756 pulgadas) por vuelta), 17,7 grados (que corresponde a una etapa de 8,0 mm (0,315 pulgadas) por vuelta), 15,8 grados (que corresponde a una etapa de 9,0 mm (0,3543 pulgadas) por vuelta), y 15 grados (que corresponde a una etapa de 9,5 mm (0,374 pulgadas) por vuelta), respectivamente; en las porciones 156a a 156h individuales de la trayectoria helicoidal 156, E-8 es de 0,01905 centímetros (0,0075 pulgadas); en las porciones 156a, 156b, 156c, 156d, 156e, 156f, 156g y 156h individuales de la trayectoria helicoidal 156, G-8 es de 0,07488 cm (0,02948 pulgadas), 0,0635 cm (0,02500 pulgadas), 0,07366 cm (0,02900 pulgadas), 0,08103 cm (0,03190 pulgadas), 0,07938 cm (0,03125 pulgadas), 0,08192 cm (0,03225 pulgadas), 0,08915 cm (0,03510 pulgadas) y 0,08204 cm (0,03230 pulgadas), respectivamente; en las porciones 156a, 156b y 156c individuales de la trayectoria helicoidal 156, F-8 es de 0,0254 cm (0,0100 pulgadas), 0,02667 cm (0,0105 pulgadas) y 0,03175 cm (0,0125 pulgadas), respectivamente; en las porciones 156d a 156h individuales de la trayectoria helicoidal 156, F-8 es de 0,0381 cm (0,0150 pulgadas); las porciones 156a, 156b, 156c, 156d, 156e, 156f, 156g y 151h individuales del recorrido helicoidal 156 incluyen 15, 14, 11, 9, 8, 7, 6 y 6 pares, respectivamente, de las formas cortadas primera y segunda 128, 130; en las porciones 156a a 156h individuales de la trayectoria helicoidal 156, el radio de curvatura del corte 160 en los extremos de los picos primero, segundo, tercero y cuarto 132, 134, 138, 139 individuales es de 0,02032 cm (0,008 pulgadas); y el radio de curvatura del corte 160 en el que la segunda forma cortada 130 se encuentra con la trayectoria helicoidal 156 hacia una primera forma cortada adyacente 128 es de 0,0254 cm (0,01 pulgadas). En otras realizaciones, el corte 160 puede tener otras dimensiones adecuadas, tales como dimensiones comprendidas entre aproximadamente el 10 %, el 20 % o el 30 % de las dimensiones en la realización ilustrada. El ancho del corte 160 puede estar comprendido, por ejemplo, entre aproximadamente 0,001016 cm (0,0004 pulgadas) y aproximadamente 0,003556 cm (0,0014 pulgadas), entre aproximadamente 0,001524 cm (0,0006 pulgadas) y aproximadamente 0,003048 cm (0,0012 pulgadas), o estar comprendido en otro rango.

Los cortes 166, 184, 195, 340 mostrados en las figuras 20, 22, 24 y 24B incluyen series de cortes de formas cortadas 168, 186, 196, 306 respectivamente. A diferencia de los cortes 122, 147, 154, 160 descritos anteriormente con referencia a las figuras 5, 8 a 10, 13 a 16 y 18, los cortes 166, 184, 195, 304 no incluyen patrones alternos de diferentes tipos de formas cortadas. En lugar de utilizar combinaciones de diferentes tipos de formas cortadas para impartir resistencia a conjuntos complementarios de menos de la totalidad de los tipos de fuerza axial y de torsión que pueden actuar sobre un segmento del eje, los cortes 166, 184, 195, 304 individuales pueden depender de un solo tipo de forma cortada que imparte resistencia a todos o a casi todos los tipos de fuerza axial y de torsión que pueden actuar sobre un segmento del eje. Esto puede ser útil, por ejemplo, para permitir que dicha resistencia se imparta de manera más gradual (por ejemplo, en incrementos más cortos) a lo largo de un segmento del eje de lo que sería posible en un eje con combinaciones de diferentes tipos de formas cortadas. Por ejemplo, un solo tipo de forma cortada que imparte resistencia a todos o a casi todos los tipos de fuerza axial y de torsión que pueden actuar sobre un segmento del eje a menudo se puede disponer con una mayor densidad axial que una combinación comparable de formas cortadas (por ejemplo, un par de las formas cortadas primera y segunda 128, 130 mostradas en las figuras 5, 8 a 10, 13 a 16 y 18). En al menos algunos casos, esto puede facilitar cambios relativamente graduales en la flexibilidad a lo largo del eje longitudinal de un segmento del eje.

Con referencia a la figura 20, las formas cortadas 168 pueden incluir un primer pico 170 (por ejemplo, un primer dedo), un segundo pico 172 (por ejemplo, un segundo dedo), y una interfaz 174 entre ellos. Los picos primero y segundo 170, 172 pueden estar curvados alejándose de la trayectoria helicoidal 162 en diferentes direcciones (por ejemplo, opuestas). En la realización ilustrada, el primer pico 170 se aleja de la trayectoria helicoidal 162 hacia un lado y el segundo pico 172 se aleja de la trayectoria helicoidal 162 hacia el lado opuesto. Los picos tanto primero como segundo 170, 172 comienzan a extenderse desde la trayectoria helicoidal 162 orientada perpendicularmente a la trayectoria helicoidal 162. Además de la trayectoria helicoidal 162, el primer pico 170 pasa a extenderse

paralelamente a la trayectoria helicoidal en dirección que se inclina de manera distal y el segundo pico pasa a extenderse paralelamente a la trayectoria helicoidal en una dirección que se inclina de manera proximal. El primer pico 170 rodea parcialmente a una primera lengüeta 176, y el segundo pico 172 rodea parcialmente a una segunda lengüeta 178. Tal como se muestra en la figura 20, en la realización ilustrada, los picos primero y segundo 170, 172 son redondeados y tienen forma de gancho. En otras realizaciones, los picos primero y segundo 170, 172 pueden tener otras formas adecuadas.

El corte 166 puede tener dimensiones D-9 y G-9. En la realización ilustrada, en las porciones 162a, 162b y 162c individuales de la trayectoria helicoidal 162, D-9 es de 36 grados (que corresponde a una etapa de 3,5 mm (0,1378 pulgadas) por vuelta), de 32 grados (que corresponde a una etapa de 4,0 mm (0,1575 pulgadas) por vuelta), y de 27 grados (que corresponde a una etapa de 5,0 mm (0,1969 pulgadas) por vuelta), respectivamente; G-9 es de 0,1092 cm (0,043 pulgadas), 0,1499 cm (0,059 pulgadas) y 0,1524 cm (0,060 pulgadas), respectivamente; las porciones 164a, 164b y 164c individuales de la trayectoria helicoidal 162 incluyen 70, 49 y 37, respectivamente, de las formas cortadas 168; y el radio de curvatura de las lengüetas primera y segunda 176, 178 individuales es de 0,0127 cm (0,005 pulgadas). En otras realizaciones, el corte 166 puede tener otras dimensiones adecuadas, tales como dimensiones comprendidas entre aproximadamente el 10 %, el 20 % o el 30 % de las dimensiones en la realización ilustrada. El ancho del corte 166 puede estar comprendido, por ejemplo, entre aproximadamente 0,001016 cm (0,0004 pulgadas) y aproximadamente 0,003556 cm (0,0014 pulgadas), entre aproximadamente 0,001524 cm (0,0006 pulgadas) y aproximadamente 0,003048 cm (0,0012 pulgadas), o estar comprendido en otro rango adecuado.

Con referencia a la figura 22, las formas cortadas 186 pueden incluir un solo pico 188 (por ejemplo, un dedo) que se aleja de la trayectoria helicoidal 180 y define una lengüeta 190 que tiene un cuello 191 y una cabeza 192, estando posicionada la cabeza 192 más lejos de la trayectoria helicoidal 180 que el cuello 191. El cuello 191 puede ser más estrecho que el cabezal 192 a lo largo de una línea paralela a la trayectoria helicoidal 180. Esta configuración puede permitir que porciones del segmento del eje 182 a lo largo de los lados opuestos del corte 184 se enclaven, al menos parcialmente, evitando o reduciendo con ello un ensanchamiento no deseable del corte 184. Los picos 188 y las lengüetas 190 se pueden extender desde la trayectoria helicoidal 180 en la misma dirección desde una forma cortada 186 hasta la siguiente a lo largo de la trayectoria helicoidal 180. Por ejemplo, en la realización ilustrada, los picos 188 y las lengüetas 190 se extienden alejándose de la trayectoria helicoidal 180 que se inclina de manera proximal. En otras realizaciones, los picos 188 y las lengüetas 190 se pueden extender alejándose de la trayectoria helicoidal 180 que se inclina de manera distal. En otras realizaciones adicionales, los picos 188 y las lengüetas 190 se pueden extender desde la trayectoria helicoidal 180 en diferentes direcciones (por ejemplo, opuestas) desde una forma cortada 186 a la siguiente a lo largo de la trayectoria helicoidal 180.

El corte 184 puede tener dimensiones D-10, G-10, H-10, I-10 y J-10. H-10 es la distancia desde la trayectoria helicoidal 180 hasta un punto central focal de una porción curvada de la forma cortada 186 adyacente a la cabeza 192. I-10 es la distancia entre puntos centrales focales de las porciones curvas de la forma cortada 186 adyacente a los lados opuestos de la transición entre la cabeza 192 y el cuello 191. J-10 es la distancia entre los puntos centrales focales de las porciones curvas de la forma cortada 186 adyacente a los lados opuestos del cuello 191. En la realización ilustrada, en las porciones 182a, 182b, y 182c individuales de la trayectoria helicoidal 182, D-10 es de 29,5 grados (que corresponde a una etapa de 4,5 mm (0,1772 pulgadas) por vuelta), de 27 grados (que corresponde a una etapa de 5,0 mm (0,1969 pulgadas) por vuelta), y de 24,9 grados (correspondientes a una etapa de 5,5 mm (0,2165 pulgadas) por vuelta), respectivamente; en las porciones 182a, 182b, y 182c individuales de la trayectoria helicoidal 182, G-10 es de 1,098 mm (0,04323 pulgadas), 1,488 mm (0,05858 pulgadas) y 1,523 mm (0,05996 pulgadas), respectivamente; en las porciones 182a a 182c individuales de la trayectoria helicoidal 182, H-10 es de 0,225 mm (0,008858 pulgadas); en las porciones 182a a 182c individuales de la trayectoria helicoidal 182, I-10 es de 0,697 mm (0,02744 pulgadas); en las porciones 182a a 182c individuales de la trayectoria helicoidal 182, J-10 es de 0,706 mm (0,0278 pulgadas); las porciones 182a, 182b y 182c individuales de la trayectoria helicoidal 182 incluyen 70, 49 y 37, respectivamente, de las formas cortadas 186; en las porciones 182a, 182b y 182c individuales de la trayectoria helicoidal 182, el radio de curvatura de la porción curvada de la forma cortada 186 adyacente a la cabeza 192 es de 1,016 cm (0,400 pulgadas); y en las porciones 182a, 182b y 182c individuales de la trayectoria helicoidal 182, el radio de curvatura de las porciones curvadas de la forma cortada 186 adyacente a los lados opuestos del cuello 191 es de 0,127 cm (0,050 pulgadas). En otras realizaciones, el corte 184 puede tener otras dimensiones adecuadas, tales como dimensiones comprendidas entre aproximadamente el 10 %, el 20 % o el 30 % de las dimensiones en la realización ilustrada. El ancho del corte 184 puede estar comprendido, por ejemplo, entre aproximadamente 0,001016 cm (0,0004 pulgadas) y aproximadamente 0,003556 cm (0,0014 pulgadas), desde aproximadamente 0,001524 cm (0,0006 pulgadas) hasta aproximadamente 0,003048 cm (0,0012 pulgadas), o estar comprendido en otro rango.

Con referencia a la figura 24, las formas cortadas 196 pueden incluir un solo pico 197 (por ejemplo, un dedo) que se aleja de la trayectoria helicoidal 193 y define una lengüeta 198 que tiene un cuello 199 y una cabeza 200, estando posicionada la cabeza 200 más lejos desde la trayectoria helicoidal 193 que desde el cuello 199. El cuello 199 puede ser más estrecho que la cabeza 200 a lo largo de una línea paralela a la trayectoria helicoidal 193. De manera similar a la configuración mostrada en la figura 22, la configuración mostrada en la figura 24 puede permitir que porciones del segmento del eje 194 a lo largo de los lados opuestos del corte 195 se enclaven, al menos parcialmente, impidiendo o reduciendo con ello un ensanchamiento no deseado del corte 195. Los picos 197 y las

lengüetas 198 pueden alejarse de la trayectoria helicoidal 193 en la misma dirección desde una forma cortada 196 a la siguiente a lo largo de la trayectoria helicoidal 193. Por ejemplo, en la realización ilustrada, los picos 197 y las lengüetas 198 se extienden alejándose de la trayectoria helicoidal 193 que se inclina de manera proximal. En otras realizaciones, los picos 197 y las lengüetas 198 pueden extenderse alejándose de la trayectoria helicoidal 193 que se inclina de manera distal. En otras realizaciones adicionales, los picos 197 y las lengüetas 198 se pueden extender desde la trayectoria helicoidal 193 en diferentes direcciones (por ejemplo, opuestas) desde una forma cortada 196 a la siguiente a lo largo de la trayectoria helicoidal 193. En contraste con las formas cortadas 186 mostradas en la figura 22, las cabezas 200 de las formas cortadas 196 pueden ser planas en lugar de redondeadas. Las lengüetas 198 individuales y las formas cortadas 196 correspondientes pueden comprender una disposición en forma de cuña con las lengüetas 198 que incluyen una porción en forma de cuña (es decir, una "cola") en la cabeza 200 y una porción limitada en el cuello 199. Las formas cortadas 196 pueden formar rebajes o zócalos (es decir, "zócalos de cola") complementarios a las lengüetas 198. En algunas realizaciones, las lengüetas 198 y las formas cortadas 196 pueden encajar perfectamente con muy poco espacio entre las porciones del segmento del eje 194 en lados opuestos del corte 195. Sin embargo, en otras realizaciones, puede haber algo de espacio entre al menos una parte de al menos algunas de las porciones en forma de cuña y de los zócalos complementarios, para permitir cierta cantidad de movimiento relativo entre las porciones del eje segmento 194 en lados opuestos del corte 195.

El corte 195 puede tener dimensiones D-11, G-11, K-11 y L-11. En la realización ilustrada, en las porciones 193a, 193b y 193c individuales de la trayectoria helicoidal 193, D-11 es de 29,5 grados (que corresponde a una etapa de 4,5 mm (0,1772 pulgadas) por vuelta), de 27 grados (correspondientes a una etapa de 5,0 mm (0,1969 pulgadas) por vuelta), y de 24,9 grados (que corresponde a una etapa de 5,5 mm (0,2165 pulgadas) por vuelta), respectivamente; en las porciones 193a, 193b y 193c individuales de la trayectoria helicoidal 193, G-11 es de 1,055 mm (0,04154 pulgadas), 1,450 mm (0,05709 pulgadas) y 1,510 mm (0,05945 pulgadas), respectivamente; en las porciones 193a a 193c individuales de la trayectoria helicoidal 193, K-11 es de 0,245 mm (0,009646 pulgadas); en las porciones 193a a 193c individuales de la trayectoria helicoidal 193, L-11 es de 0,800 mm (0,0315 pulgadas); y las porciones 193a, 193b y 193c individuales de la trayectoria helicoidal 193 incluyen 70, 49 y 37, respectivamente, de las formas cortadas 196. En otras realizaciones, el corte 195 puede tener otras dimensiones adecuadas, tales como dimensiones comprendidas entre aproximadamente el 10 %, el 20 % o el 30 % de las dimensiones en la realización ilustrada. El ancho del corte 195 puede estar comprendido, por ejemplo, entre aproximadamente 0,001016 cm (0,0004 pulgadas) y aproximadamente 0,003556 cm (0,0014 pulgadas), entre aproximadamente 0,001524 cm (0,0006 pulgadas) y aproximadamente 0,003048 cm (0,0012 pulgadas), o estar comprendido en otro rango adecuado.

Con referencia a la figura 24B, las formas cortadas 306 pueden incluir un solo pico 308 (por ejemplo, un dedo) que se aleja de la trayectoria helicoidal 300 y define una lengüeta 310 que tiene un cuello 312 y una cabeza 314, estando posicionada la cabeza 314 más alejada de la trayectoria helicoidal 300 que el cuello 312. El cuello 312 puede ser más estrecho que la cabeza 314 a lo largo de una línea paralela a la trayectoria helicoidal 300. De manera similar a las configuraciones mostradas en las figuras 22 y 24, la configuración mostrada en la figura 24B puede permitir que porciones del segmento del eje 302 a lo largo de los lados opuestos del corte 304 se enclaven, al menos parcialmente, lo que evita o reduce un ensanchamiento no deseable del corte 304. Los picos 308 y las lengüetas 310 se pueden alejar de la trayectoria helicoidal 300 en la misma dirección de una forma cortada 306 a la siguiente a lo largo de la trayectoria helicoidal 300. Por ejemplo, en la realización ilustrada, los picos 308 y las lengüetas 310 se extienden alejándose de la trayectoria helicoidal 300 que se inclina de manera proximal. En otras realizaciones, los picos 308 y las lengüetas 310 pueden extenderse alejándose de la trayectoria helicoidal 300 que se inclina de manera distal. En otras realizaciones adicionales, los picos 308 y las lengüetas 310 se pueden extender alejándose de la trayectoria helicoidal 300 en diferentes direcciones (por ejemplo, opuestas) desde una forma cortada 306 a la siguiente a lo largo de la trayectoria helicoidal 300.

En contraste con las formas cortadas 186 mostradas en la figura 22, las cabezas 314 de las formas cortadas 306 pueden ser planas en lugar de redondeadas. Esto es similar a las formas cortadas 196 mostradas en la figura 24. También de manera similar a las formas cortadas 196 mostradas en la figura 24, las lengüetas 310 individuales y las formas cortadas correspondientes 306 pueden comprender una disposición en forma de cuña con las lengüetas 310 que incluyen una porción en forma de cuña (es decir, una "cola") en la cabeza 314 y una porción limitada en el cuello 312. Las formas cortadas 306 pueden formar rebajes o zócalos (es decir, "zócalos de cola") complementarios a las lengüetas 310. En algunas realizaciones, las lengüetas 310 y las formas cortadas 306 pueden encajar perfectamente, con muy poco espacio entre las porciones del segmento del eje 302 en lados opuestos del corte 304. Sin embargo, en otras realizaciones, puede haber algo de espacio entre al menos una parte de al menos algunas de las porciones en forma de cuña y los zócalos complementarios, como para permitir cierta cantidad de movimiento relativo entre las porciones del segmento del eje 302 en lados opuestos del corte 304. Los lados de las formas cortadas 306 pueden ser sinusoides opuestas. Con respecto a las formas cortadas 196 mostradas en la figura 24, los lados de las lengüetas 310 y las correspondientes formas cortadas 306 pueden formar ángulos mayores con respecto a la trayectoria helicoidal 300. Por ejemplo, a medio camino entre la trayectoria helicoidal 300 y los bordes de las porciones de las lengüetas 310 y las correspondientes formas cortadas 306 más alejadas desde la trayectoria helicoidal 300, los lados de las lengüetas 310 y las formas cortadas correspondientes 306 pueden inclinarse desde aproximadamente 30 grados hasta aproximadamente 60 grados, tal

como desde aproximadamente 40 grados hasta aproximadamente 50 grados con respecto a la trayectoria helicoidal 300.

En cada forma cortada 306, el corte 304 puede tener dimensiones K-12, M-12, N-12, O-12 y P-12. En la realización ilustrada, K-12 es de 0,245 mm (0,009646 pulgadas), M-12 es de 0,575 mm (0,02264 pulgadas), N-12 es de 0,697 mm (0,02744 pulgadas), O-12 es de 0,706 mm (0,0278 pulgadas), y P-12 es de 0,828 mm (0,0326 pulgadas). El radio de curvatura de la porción curvada de la forma cortada 306 adyacente a la cabeza 314 es de 0,05 cm (0,01969 pulgadas). De manera similar, el radio de curvatura de la porción curvada de la forma cortada 306 adyacente al cuello 312 es de 0,05 cm (0,01969 pulgadas). La trayectoria helicoidal 300 mostrada en la figura 24A es una aproximación, ya que no se muestra el cambio preciso en el ángulo de la trayectoria helicoidal 300 entre las porciones 300a a 300c. El corte 304 puede tener diferente etapa en diferentes porciones de la trayectoria helicoidal 300. En la realización ilustrada, el corte 304 tiene una etapa de 4 mm (0,1575 pulgadas) por vuelta en la porción 300a de la trayectoria helicoidal 300, una etapa de 5 mm (0,1969 pulgadas) por vuelta en la porción 300b de la trayectoria helicoidal 300, y una etapa de 5,5 mm (0,2165 pulgadas) por vuelta en la porción 300c de la trayectoria helicoidal 300. La distancia desde una forma cortada 306 dada hasta una forma cortada vecina 306 a lo largo del corte 304 se puede variar en diferentes porciones de la trayectoria helicoidal 300, lo que puede cambiar la separación circunferencial entre las formas cortadas 306. Esto puede ser útil, por ejemplo, para evitar la superposición de las formas cortadas 306 en las curvas adyacentes de la trayectoria helicoidal 300.

En la realización ilustrada, el corte 304 incluye 70 formas cortadas 306 con una separación circunferencial de 155 grados en la porción 300a de la trayectoria helicoidal 300, 49 formas cortadas 306 con una separación circunferencial de 210 grados en la porción 300b de la ruta helicoidal 300 y 37 formas cortadas 306 con una separación circunferencial de 215 grados en la porción 300c de la trayectoria helicoidal 300. En la otra realización, la trayectoria helicoidal 300 se puede dividir en cinco porciones en lugar de tres. Desde el punto distal al proximal, el corte 304 puede incluir 35 formas cortadas 306 con una separación circunferencial de 159 grados en la primera de estas porciones, 32 formas cortadas 306 con una separación circunferencial de 155 grados en la segunda de estas porciones, 30 formas cortadas 306 con una separación circunferencial de 210 grados en la tercera porción de estas porciones, 27 formas cortadas 306 con una separación circunferencial de 215 grados en la cuarta porción de estas porciones, y 27 formas cortadas 306 con una separación circunferencial de 220 grados en la quinta porción de estas porciones. Además, el corte 304 puede tener una etapa de 4 mm (0,1575 pulgadas) por vuelta en la primera porción, una etapa de 4,5 mm (0,1772 pulgadas) por vuelta en la segunda porción, una etapa de 5 mm (0,1969 pulgadas) por vuelta en la tercera porción, una etapa de 5,5 mm (0,2165 pulgadas) por vuelta en la cuarta porción, y una etapa de 6 mm (0,2362 pulgadas) por vuelta en la quinta porción.

En otra realización más, la trayectoria helicoidal 300 se puede dividir en nueve porciones en lugar de tres. Desde el punto distal al proximal, el corte 304 puede incluir 32 formas cortadas 306 con una separación circunferencial de 192 grados en la primera de estas porciones, 28 formas cortadas 306 con una separación circunferencial de 183 grados en la segunda de estas porciones, 25 formas cortadas 306 con una separación circunferencial de 174 grados en la tercera de estas porciones, 22 formas cortadas 306 con una separación circunferencial de 166 grados en la cuarta de estas porciones, 21 formas cortadas 306 con una separación circunferencial de 159 grados en la quinta de estas porciones, 20 formas cortadas 306 con una separación circunferencial de 155 grados en la sexta de estas porciones, 14 formas cortadas 306 con una separación circunferencial de 210 grados en la séptima de estas porciones, 12 formas cortadas 306 con una separación circunferencial de 215 grados en la octava de estas porciones y 24 formas cortadas 306 con una separación circunferencial de 220 grados en la novena de estas porciones. Además, el corte 304 puede tener una etapa de 2 mm (0,07874 pulgadas) por vuelta en la primera porción, una etapa de 2,5 mm (0,09843 pulgadas) por vuelta en la segunda porción, una etapa de 3 mm (0,1181 pulgadas) por vuelta en la tercera porción, una etapa de 3,5 mm (0,1378 pulgadas) por vuelta en la cuarta porción, una etapa de 4 mm (0,1575 pulgadas) por vuelta en la quinta porción, una etapa de 4,5 mm (0,1772 pulgadas) por vuelta en la sexta porción, una etapa de 5 mm (0,1969 pulgadas) por vuelta en la séptima porción, una etapa de 5,5 mm (0,2165 pulgadas) por vuelta en la octava porción, y una etapa de 6 mm (0,2362 pulgadas) por vuelta en la novena porción. En otras realizaciones, el corte 304 puede tener otras dimensiones adecuadas, tales como dimensiones comprendidas entre aproximadamente el 10 %, el 20 % o el 30 % de las dimensiones indicadas anteriormente. El ancho del corte 304 puede estar comprendido, por ejemplo, entre aproximadamente 0,001016 cm (0,0004 pulgadas) y aproximadamente 0,003556 cm (0,0014 pulgadas), entre aproximadamente 0,001524 cm (0,0006 pulgadas) y aproximadamente 0,003048 cm (0,0012 pulgadas), o estar comprendido en otro rango adecuado.

Con referencia a las figuras 3 a 24B juntos, aunque las trayectorias helicoidales 126, 146, 148, 151, 156, 162, 180, 193, 300, los segmentos del eje 127, 143, 149, 153, 158, 164, 182, 194 y los cortes 122, 147, 154, 160, 166, 184, 195, 304 se ilustran en combinaciones específicas en las figuras 3 a 24B, también son posibles otras combinaciones. Por ejemplo, los cortes 122, 147, 154, 160, 166, 184, 195, 304 individuales mostrados en las figuras 4, 5, 8 a 10, 13 a 16, 18, 20, 22, 24 y 24B pueden utilizarse junto con cualquiera de las trayectorias helicoidales 126, 146, 148, 151, 156, 162, 180, 193, 300 mostradas en las figuras 3, 7A, 11, 12A, 17, 19, 21, 23 y 24A.

Las figuras 25 a 28 son representaciones bidimensionales de porciones de cortes configuradas de acuerdo con varias realizaciones de la presente tecnología. Tal como se muestra en la figura 25, por ejemplo, en algunas

realizaciones, un eje 108 incluye una región no cortada 201, estando posicionadas las formas cortadas primera y segunda 128, 130 a lo largo de porciones de una trayectoria helicoidal a cada lado de la región no cortada 201. Por ejemplo, la región no cortada 201 puede ser una de las muchas regiones no cortadas 201 intercaladas entre las formas cortadas primera y segunda 128, 130 a lo largo de la trayectoria helicoidal. En otras realizaciones, las formas cortadas primera y segunda 128, 130 pueden ser porciones de un corte continuo. Por ejemplo, tal como se muestra en la figura 26, las formas cortadas primera y segunda 128, 130 pueden estar en patrones adecuados a lo largo de la trayectoria helicoidal, distintos de los patrones alternativos uno a uno. Los patrones adecuados pueden incluir, por ejemplo, patrones aleatorios, patrones no aleatorios, patrones alternos de dos a uno, patrones alternos de dos a dos y patrones alternos de tres a dos, entre otros. Además, la separación entre las formas cortadas primera y segunda 128, 130 adyacentes puede ser coherente o variable.

Con referencia a la figura 27, un eje puede incluir dos o más formas cortadas 202 y dos o más formas cortadas 204 intercaladas a lo largo de una trayectoria helicoidal. De manera similar a las formas cortadas 168, 186 mostradas en las figuras 20 y 22, las formas cortadas 202 individuales pueden configurarse para enclavarse completamente en lugar de enclavarse parcialmente. Por ejemplo, las formas cortadas 202 individuales pueden estar configuradas para resistir, al menos parcialmente, la deformación en respuesta a una compresión sobre el eje, a una tensión sobre el eje, a una torsión sobre el eje en la primera dirección circunferencial y a una torsión sobre el eje en la segunda dirección circunferencial. El eje, por ejemplo, puede incluir lengüetas 206 (por ejemplo, salientes, lóbulos u otras estructuras adecuadas) adyacentes a las formas cortadas 202, definiendo las formas cortadas 202 las lengüetas 106 mediante la formación de rebajes complementarios a las lengüetas 206. Las lengüetas 206 individuales pueden incluir una porción abocinada 206a (por ejemplo, una porción de cabeza redondeada) y una porción limitada 206b (por ejemplo, una porción de cuello redondeado), u otras estructuras adecuadas. Las formas cortadas 204 pueden ser sinusoidales y tienen amplitudes orientadas perpendicularmente a la trayectoria helicoidal. Por ejemplo, las formas cortadas 204 individuales pueden incluir un primer pico 208 y un segundo pico 210 con una interfaz 212 entre ellas, que es diagonal con respecto a un eje longitudinal del eje y perpendicular a la trayectoria helicoidal.

Tal como se muestra en la figura 28, en algunas realizaciones, un eje incluye las formas cortadas 202 sin las formas cortadas 204. En otras realizaciones, el eje puede incluir las formas cortadas 204 sin las formas cortadas 202. Aunque las formas cortadas 202, 204 son potencialmente útiles solas o en combinación con otras formas cortadas, se espera que las combinaciones de las formas cortadas primera y segunda 128, 130 puedan ser más estables en algunos casos que las formas cortadas 202, 204 solas o en combinación, durante la utilización de un catéter de neuromodulación. Por ejemplo, se espera que las combinaciones de formas cortadas que imparten resistencia a conjuntos complementarios de menos de la totalidad de los tipos de fuerza axial y torsional que pueden actuar sobre un eje durante la utilización de un catéter de neuromodulación pueden facilitar la disipación de esfuerzos localizados a lo largo de un corte. De manera similar a las formas cortadas 168, 186 mostradas en las figuras 20 y 22, sin embargo, las formas cortadas 202, 204 pueden permitir ventajosamente cambios relativamente graduales en la flexibilidad a lo largo de la longitud de un segmento del eje. Además, resultará evidente que los catéteres configurados de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología pueden incluir varias combinaciones de formas cortadas adaptadas para proporcionar un nivel deseado de flexibilidad y/o control para diferentes aplicaciones.

Las figuras 29 a 31 son vistas, en perspectiva, de segmentos del eje que tienen aberturas de salida de alambre de guía con diferentes posiciones con respecto a los cortes configurados de acuerdo con varias realizaciones de la presente tecnología. Por ejemplo, con referencia a las figuras 5 y 29, en algunas realizaciones, un segmento del eje 214 que tiene las formas cortadas primera y segunda 128, 130 tiene una abertura de salida de alambre de guía 216 en lugar de un tercer pico 138 de una de las segundas formas cortadas 130. En otras realizaciones, la abertura de salida del alambre de guía 216 puede estar en lugar del primer pico 132, del segundo pico 134, del cuarto pico 139, o de una combinación de los mismos que incluye o no el tercer pico 138. Como ejemplo adicional, con referencia a las figuras 5 y 30, un segmento del eje 218 que tiene las formas cortadas primera y segunda 128, 130 puede tener una abertura de salida de alambre de guía 220 entre (por ejemplo, aproximadamente de manera uniforme entre las mismas) vueltas adyacentes de una trayectoria helicoidal a lo largo de la cual están distribuidas las formas cortadas primera y segunda 128, 130. Como otro ejemplo adicional, con referencia a las figuras 5, 25 y 31, un segmento del eje 222 que tiene las formas cortadas primera y segunda 128, 130 y la región no cortada 201 (por ejemplo, tal como se describió anteriormente con referencia a la figura 25) puede tener una abertura de salida de alambre guía 224 en la región no cortada 201. En otros ejemplos, las aberturas de salida del alambre de guía pueden tener otras posiciones adecuadas con respecto a los cortes. Además, aunque las aberturas de salida del alambre de guía 216, 220, 224 se ilustran en las figuras 29 a 31 como, en general, ovaladas con sus ejes longitudinales alineados con los ejes longitudinales de los segmentos del eje 214, 218, 222, correspondientes las aberturas de salida del alambre de guía 216, 220, 224 pueden tener otras formas y/u orientaciones adecuadas.

En lugar de un tubo cortado o además del mismo, los catéteres de neuromodulación configurados de acuerdo con al menos algunas realizaciones de la presente tecnología pueden incluir uno o más miembros alargados (por ejemplo, filamentos, alambres, cintas u otras estructuras adecuadas) enrollados helicoidalmente en una o más formas tubulares. De manera similar a la densidad axial de características de un corte a lo largo de un eje longitudinal de un eje (por ejemplo, tal como se explicó anteriormente con referencia a la figura 3), la densidad axial de los enrollamientos de un miembro alargado enrollado helicoidalmente a lo largo de un eje longitudinal de un eje

puede ser seleccionada para cambiar la flexibilidad del eje. Por ejemplo, se puede seleccionar una densidad axial de los arrollamientos a lo largo de un eje longitudinal de un eje para facilitar el suministro intravascular de un elemento de neuromodulación a una ubicación de tratamiento dentro de una arteria renal de un paciente humano o cerca de la misma a través de una aproximación transradial o de otra adecuada. En algunas realizaciones, una densidad axial de los arrollamientos a lo largo de un eje longitudinal de un eje varía a lo largo de la longitud del eje (por ejemplo, para adaptar el eje a la tortuosidad o a otra geometría de diferentes porciones de una aproximación transradial o de otra adecuada). En otras realizaciones, la densidad axial de los arrollamientos a lo largo de un eje longitudinal de un eje puede ser constante a lo largo de la longitud del eje (por ejemplo, para aumentar la flexibilidad general del eje).

Las figuras 32 y 33 son vistas, en perspectiva, de segmentos del eje que incluyen miembros alargados enrollados helicoidalmente, configurados de acuerdo con varias realizaciones de la presente tecnología. Con referencia a la figura 32, un eje 250 puede incluir un primer miembro alargado enrollado helicoidalmente 252 que tiene una serie de primeros arrollamientos 254 que forman, al menos parcialmente, una primera estructura tubular 256. El eje 250 puede incluir además un segundo miembro alargado enrollado helicoidalmente 258 que tiene una serie de segundos arrollamientos 260 que forman, al menos parcialmente, una segunda estructura tubular 262. La primera estructura tubular 256 puede estar dispuesta en el interior de la segunda estructura tubular 262, y las estructuras tubulares primera y segunda 256, 262 pueden ser concéntricas.

En algunas realizaciones, al menos uno de los primeros y segundos miembros alargados helicoidalmente 252, 258 es multifilar. Por ejemplo, en la realización mostrada en la figura 32, el segundo miembro alargado enrollado helicoidalmente 258 es multifilar, con cinco filamentos paralelos (identificados individualmente en la figura 32 como 258a a 258e), y el primer miembro alargado enrollado helicoidalmente 252 es monofilar. En otras realizaciones, el segundo miembro alargado enrollado helicoidalmente 258 puede ser monofilar y el primer miembro alargado enrollado helicoidalmente 252 puede ser multifilar. En otras realizaciones adicionales, tanto el primer como el segundo miembros alargados helicoidalmente enrollados 252, 258 pueden ser monofilares o multifilares. Además, en algunas realizaciones, los primeros arrollamientos 254, los segundos arrollamientos 260, o ambos están "enrollados abiertamente" o separados a lo largo de un eje longitudinal del eje 250. Por ejemplo, en la realización mostrada en la figura 32, los segundos arrollamientos 260 se muestran separados a lo largo del eje longitudinal del eje 250 con espacios 181 entre los segundos arrollamientos adyacentes 260, y los primeros arrollamientos 254 se muestran no separados a lo largo del eje longitudinal del eje 250. En otras realizaciones, los segundos arrollamientos 260 no pueden estar separados a lo largo del eje longitudinal del eje 250 y los primeros arrollamientos 254 pueden estar separados a lo largo del eje longitudinal del eje 250. En otras realizaciones adicionales, tanto el primero como el segundo arrollamiento 254, 260 pueden estar separados o no separados a lo largo del eje longitudinal del eje 250.

Con referencia a la figura 33, un eje 264 puede incluir un tercer elemento 266 alargado enrollado helicoidalmente que tiene una serie de terceros arrollamientos 268 que forman, al menos parcialmente, una tercera estructura tubular 270. Las estructuras tubulares primera y segunda 256, 262 pueden estar dispuestas en el interior de la tercera estructura tubular 270, y las estructuras tubulares primera, segunda y tercera 256, 262, 270 pueden ser concéntricas. En la realización mostrada en la figura 33, el tercer miembro alargado enrollado helicoidalmente 266 es multifilar, con filamentos paralelos (identificados individualmente en la figura 33 como 266a a 266e). En otras realizaciones, el tercer miembro alargado helicoidalmente 266 enrollado puede ser monofilar. Además, en realizaciones que tienen más de una capa enrollada helicoidalmente, las capas pueden ser enrolladas en sentido contrario, por ejemplo, una capa helicoidal enrollada a derechas puede rodear a una capa helicoidal enrollada a izquierdas. El eje 264 puede incluir además una camisa 272 biocompatible que encierra, al menos parcialmente, la primera, segunda y tercera estructuras tubulares 256, 262, 270. La camisa biocompatible 272, por ejemplo, puede estar realizada, al menos parcialmente, de un polímero liso o de otro material adecuado, bien adaptados para el contacto deslizante con una pared interior de un lumen corporal.

Las figuras 34 y 35 son vistas laterales, de perfil, de miembros alargados enrollados helicoidalmente 274, 278, respectivamente, configurados de acuerdo con varias realizaciones de la presente tecnología. Con referencia a la figura 34, el miembro alargado enrollado helicoidalmente 274 puede tener una serie de arrollamientos 276 con un ángulo medio de la hélice K-1. Con referencia a la figura 34, el miembro alargado 278 enrollado helicoidalmente puede tener una serie de arrollamientos 280 con un ángulo medio de hélice K-2. Con referencia a las figuras 33 a 35 juntas, los primeros arrollamientos 254, los segundos arrollamientos 260, los terceros arrollamientos 268, o un subconjunto de los mismos, pueden tener diferentes ángulos medios de hélice. Por ejemplo, un primer ángulo medio de hélice de los primeros arrollamientos 254 puede ser diferente de un segundo ángulo medio de hélice de los segundos arrollamientos 260 en un ángulo en un rango comprendido entre aproximadamente 10 grados y aproximadamente 140 grados (por ejemplo, un rango comprendido entre aproximadamente 30 grados y aproximadamente 120 grados, u otro rango adecuado). De manera similar, el primer ángulo medio de hélice de los primeros arrollamientos 254 puede ser diferente a un tercer ángulo medio de hélice de los terceros arrollamientos 268 en un ángulo en un rango comprendido entre aproximadamente 10 grados y aproximadamente 140 grados (por ejemplo, un rango comprendido entre aproximadamente 30 grados y aproximadamente 120 grados, u otro rango adecuado) y el segundo ángulo medio de hélice del segundo arrollamiento 260 puede estar comprendido (por ejemplo, aproximadamente a medio camino entre) entre los ángulos medios de hélice primero y tercero del primer y tercer arrollamiento 254, 268, respectivamente.

La figura 36 es una vista lateral, de perfil, de un miembro alargado 282 helicoidal configurado de acuerdo con una realización de la presente tecnología. El miembro alargado 282 helicoidal puede tener una serie de arrollamientos 284 con diferentes ángulos medios de hélice y quiralidad opuesta a cada lado de una región de transición 286. Aunque se muestra un cambio brusco en el ángulo medio de hélice en la región de transición 286, en la figura 36, el cambio en la región de transición 286 puede ser alternativamente gradual o incremental. Con referencia a las figuras 32, 33 y 36, en conjunto, en algunas realizaciones, los primeros arrollamientos 254, los segundos arrollamientos 260 y/o los terceros arrollamientos 268 incluyen una o más regiones de transición 286. En otras realizaciones, los primeros arrollamientos 254, los segundos arrollamientos 260, y los terceros arrollamientos 268 pueden tener ángulos de hélice coherentes a lo largo del eje 250. Incluir una o más regiones de transición 286 puede ser útil, por ejemplo, para permitir que varíe la diferencia entre los ángulos medios de hélice de los arrollamientos en el interior de las estructuras tubulares concéntricas (por ejemplo, para cambiar al menos una vez) a lo largo de la longitud del eje 250. Por ejemplo, esta diferencia puede disminuir (por ejemplo, de manera brusca, gradual o incremental) a lo largo de la longitud del eje 250. Se espera que aumentar la diferencia entre los ángulos medios de hélice de los arrollamientos en el interior de las estructuras tubulares concéntricas pueda reducir la flexibilidad y aumentar la rigidez axial y torsional de un eje, y que disminuir la diferencia entre los ángulos medios de hélice de los arrollamientos en el interior de las estructuras tubulares concéntricas puede aumentar la flexibilidad y disminuir la rigidez axial y torsional de un eje. Por consiguiente, las posiciones de las regiones de transición 286 se pueden seleccionar para cambiar la flexibilidad del eje con respecto a la rigidez axial y torsional del eje a lo largo de un eje (por ejemplo, para facilitar el suministro intravascular de un elemento de neuromodulación a una ubicación de tratamiento en el interior de una arteria renal de un paciente humano o próxima a la misma a través de una aproximación transradial o de otra adecuada).

En lugar de un tubo cortado y/o un miembro alargado enrollado helicoidalmente o además de los mismos, los catéteres de neuromodulación configurados de acuerdo con al menos algunas realizaciones de la presente tecnología pueden incluir ejes que tienen uno o más segmentos con diferentes propiedades de memoria de forma. Con referencia a la figura 3, por ejemplo, la primera porción 127a del segmento 127 puede estar realizada, al menos parcialmente, de una primera aleación con memoria de forma, la segunda porción 127b del segmento 127 puede estar realizada, al menos parcialmente, de una segunda aleación con memoria de forma, y la tercera porción 127c del segmento 127 puede estar realizada, al menos parcialmente, de una tercera aleación con memoria de forma. Las aleaciones con memoria de forma primera, segunda y tercera pueden ser diferentes o iguales. En algunas realizaciones, las aleaciones con memoria de forma primera, segunda y tercera son nitinol. En otras realizaciones, las aleaciones con memoria de forma primera, segunda y tercera pueden ser de otros materiales adecuados. Las aleaciones con memoria de forma primera, segunda y tercera pueden tener rangos de la temperatura de transformación con memoria de forma primero, segundo y tercer, respectivamente. Por ejemplo, cuando las aleaciones con memoria de forma primera, segunda y tercera son nitinol, los rangos de la temperatura de transformación con memoria de forma primero, segundo y tercero pueden incluir temperaturas Af.

El tercer rango de temperatura de transformación con memoria de forma y/o una temperatura Af del tercer rango de temperatura de transformación con memoria de forma pueden ser más bajos que el primer rango de temperatura de transformación con memoria de forma y/o una temperatura Af del primer rango de temperatura de transformación con memoria de forma. Por ejemplo, el primer rango de temperatura de transformación con memoria de forma puede incluir una temperatura Af mayor que la temperatura corporal, y el tercer rango de temperatura de transformación con memoria de forma incluye una temperatura Af menor que la temperatura corporal. Un rango de temperatura de transformación con memoria de forma y/o una temperatura Af de un rango de temperatura de transformación con memoria de forma del eje 108 puede aumentar (por ejemplo, de manera brusca, gradual o incremental) a lo largo de la segunda porción 127b del segmento 127 desde la tercera porción 127c del segmento 127 hacia la primera porción 127a del segmento 127. En algunas realizaciones, para variar los rangos de temperatura de transformación con memoria de forma y/o las temperaturas de Af a lo largo de la longitud del eje 108, las porciones primera, segunda y tercera 127a a 127c del segmento 127 están formadas por separado y, después, unidas. En otras realizaciones, los rangos de temperatura de transformación con memoria de forma y/o las temperaturas de Af a lo largo de la longitud del eje 108 se pueden conseguir procesando las porciones primera, segunda y tercera 127a a 127c del segmento 127 de manera diferente, mientras son unidas. Por ejemplo, una de las porciones primera, segunda y tercera 127a a 127c puede ser sometida a un tratamiento térmico para cambiar su rango de temperatura de transformación con memoria de forma y/o temperatura Af, mientras que las otras de las porciones primera, segunda y tercera 127a a 127c están aisladas térmicamente.

Se espera que mayores rangos de temperatura de transformación con memoria de forma y/o temperaturas Af de los rangos de temperatura de transformación con memoria de forma pueden aumentar la flexibilidad y disminuir la rigidez axial y torsional de un eje (por ejemplo, haciendo que el nitinol tienda a asumir una fase austenítica a la temperatura corporal), y que menores rangos de temperatura de transformación con memoria de forma y/o temperaturas Af de los rangos de temperatura de transformación con memoria de forma pueden disminuir la flexibilidad y aumentar la rigidez axial y torsional de un eje (por ejemplo, haciendo que el nitinol tienda a asumir una fase martensítica a la temperatura corporal). Por consiguiente, las posiciones de las porciones de un eje que tienen diferentes rangos de temperatura de transformación con memoria de forma y/o temperaturas de Af de los rangos de temperatura de transformación con memoria de forma se pueden seleccionar para cambiar la flexibilidad del eje con respecto a la rigidez axial y torsional del eje a lo largo de la longitud de un eje (por ejemplo, para facilitar el

suministro intravascular de un elemento de neuromodulación a una ubicación de tratamiento en el interior de una arteria renal de un paciente humano o próxima a la misma mediante una aproximación transradial o de otra adecuada).

Neuromodulación renal

- 5 La neuromodulación renal es la incapacitación parcial o completa, u otra interrupción efectiva de los nervios de los riñones (por ejemplo, los nervios que terminan en los riñones o en estructuras estrechamente asociadas con los riñones). En particular, la neuromodulación renal puede incluir inhibir, reducir y/o bloquear la comunicación neural a lo largo de las fibras neurales (por ejemplo, fibras neurales eferentes y/o aferentes) de los riñones. Dicha incapacitación puede ser a largo plazo (por ejemplo, permanente o por períodos de meses, años o décadas) o a corto plazo (por ejemplo, por períodos de minutos, horas, días o semanas). Se espera que la neuromodulación renal contribuya a la reducción sistémica del tono o impulso simpático y/o beneficie al menos a algunos órganos específicos y/o a otras estructuras corporales inervadas mediante los nervios simpáticos. Por consiguiente, se espera que la neuromodulación renal sea útil en el tratamiento de afecciones clínicas asociadas con la sobreactividad o la hiperactividad simpática sistémica, en particular de afecciones asociadas con la sobreestimulación simpática central. Por ejemplo, se espera que la neuromodulación renal trate eficientemente la hipertensión, la insuficiencia cardíaca, el infarto agudo de miocardio, el síndrome metabólico, la resistencia a la insulina, la diabetes, la hipertrofia ventricular izquierda, una enfermedad renal crónica y terminal, la retención inadecuada de líquidos en la insuficiencia cardíaca, el síndrome cardiorrenal, una enfermedad renal poliquística, el síndrome del ovario poliquístico, la osteoporosis, la disfunción eréctil y la muerte súbita, entre otras afecciones.
- 10
- 15
- 20 La neuromodulación renal puede ser inducida eléctricamente, inducida térmicamente, inducida químicamente o inducida de otra manera o combinación de maneras adecuadas en una o más ubicaciones de tratamiento adecuadas durante un procedimiento de tratamiento. La ubicación del tratamiento puede estar en el interior de un lumen renal (por ejemplo, una arteria renal, un uréter, una pelvis renal, un cáliz renal mayor, un cáliz renal menor u otra estructura adecuada) o próxima a los mismos, y el tejido tratado puede incluir tejido al menos próximo a una pared del lumen renal. Por ejemplo, con respecto a una arteria renal, un procedimiento de tratamiento puede incluir nervios moduladores en el plexo renal, que se encuentran íntimamente en el interior a la adventicia de la arteria renal, o adyacentes a la misma
- 25

- La neuromodulación renal puede incluir una modalidad de tratamiento crioterapéutico, solo o en combinación con otra modalidad de tratamiento. El tratamiento crioterapéutico puede incluir enfriamiento del tejido en una ubicación de tratamiento, de tal manera que module la función neural. Por ejemplo, enfriar suficientemente al menos una porción de un nervio renal simpático puede retardar o potencialmente bloquear la conducción de las señales neurales para producir una reducción prolongada o permanente de la actividad simpática renal. Este efecto puede ocurrir como resultado del daño tisular crioterapéutico, que puede incluir, por ejemplo, daño celular directo (por ejemplo, necrosis), daño vascular o luminal (por ejemplo, células con falta de nutrientes por el daño en los vasos sanguíneos que los suministran) y/o hipotermia subletal con posterior apoptosis. La exposición al enfriamiento crioterapéutico puede causar una muerte celular aguda (por ejemplo, inmediatamente después de la exposición) y/o una muerte celular retardada (por ejemplo, durante la descongelación de tejidos y la posterior hiperperfusión). La neuromodulación utilizando un tratamiento crioterapéutico de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología puede incluir el enfriamiento de una estructura próxima a una superficie interior de la pared del lumen del cuerpo, de tal manera que el tejido se enfríe de manera efectiva a una profundidad en la que residen los nervios renales simpáticos. Por ejemplo, en algunas realizaciones, un conjunto de enfriamiento de un dispositivo crioterapéutico puede ser enfriado en la medida en que cause una neuromodulación renal criogénica terapéuticamente eficaz. En otras realizaciones, una modalidad de tratamiento crioterapéutico puede incluir un enfriamiento que no está configurado para causar neuromodulación. Por ejemplo, el enfriamiento puede ser igual o superior a las temperaturas criogénicas y puede ser utilizado para controlar la neuromodulación a través de otra modalidad de tratamiento (por ejemplo, para proteger el tejido de la energía de neuromodulación).
- 30
- 35
- 40
- 45

- La neuromodulación renal puede incluir una modalidad de tratamiento a base de electrodos o de transductores, sola o en combinación con otra modalidad de tratamiento. El tratamiento a base de electrodos o de transductores puede incluir el suministro de electricidad y/o de otra forma de energía al tejido en una ubicación de tratamiento para estimular y/o calentar el tejido de una manera que modula la función neural. Por ejemplo, una suficiente estimulación y/o calentamiento al menos en una porción de un nervio renal simpático pueden ralentizar o potencialmente bloquear la conducción de las señales neurales para producir una reducción prolongada o permanente de la actividad simpática renal. Se pueden utilizar una variedad de tipos adecuados de energía para estimular y/o calentar el tejido en una ubicación de tratamiento. Por ejemplo, la neuromodulación de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología puede incluir el suministro de energía de RF, energía pulsada, energía de microondas, energía óptica, energía de ultrasonidos enfocada (por ejemplo, energía de ultrasonidos enfocada de alta intensidad) u otro tipo adecuado de energía, solo o en combinación. Un electrodo o transductor utilizado para suministrar esta energía se puede utilizar solo o con otros electrodos o transductores en una matriz de múltiples electrodos o de múltiples transductores. Además, la energía se puede aplicar desde el interior del cuerpo (por ejemplo, en el interior de los vasos o de otros lúmenes del cuerpo en una aproximación basada en catéter) y/o desde el exterior del cuerpo (por ejemplo, a través de un aplicador colocado fuera del cuerpo). Además, se puede
- 50
- 55
- 60

utilizar energía para reducir el daño a un tejido no objetivo cuando el tejido objetivo adyacente al tejido no objetivo es sometido a un enfriamiento de neuromodulación.

La neuromodulación que utiliza energía de ultrasonidos enfocada (por ejemplo, energía de ultrasonidos enfocada de alta intensidad) puede ser beneficiosa con respecto a la neuromodulación que utiliza otras modalidades de tratamiento. El ultrasonido enfocado es un ejemplo de una modalidad de tratamiento basada en un transductor, que puede ser administrado desde el exterior del cuerpo. El tratamiento con ultrasonidos enfocados se puede realizar en estrecha asociación con imágenes (por ejemplo, resonancia magnética, tomografía computarizada, fluoroscopia, ultrasonidos (por ejemplo, intravascular o intraluminal), tomografía de coherencia óptica u otra modalidad adecuada de toma de imágenes). Por ejemplo, la toma de imágenes se puede utilizar para identificar una posición anatómica de una ubicación de tratamiento (por ejemplo, como un conjunto de coordenadas con respecto a un punto de referencia). Las coordenadas pueden ser introducidas en un dispositivo de ultrasonidos enfocados configurado para cambiar la potencia, el ángulo, la fase u otros parámetros adecuados para generar una zona focal de ultrasonido en la ubicación correspondiente a las coordenadas. La zona focal puede ser lo suficientemente pequeña como para localizar un calentamiento terapéuticamente efectivo en la ubicación del tratamiento, mientras que, de forma parcial o total, se evita una perturbación potencialmente dañina de las estructuras cercanas. Para generar la zona focal, el dispositivo de ultrasonidos puede ser configurado para pasar la energía de ultrasonidos a través de una lente, y/o la energía de ultrasonidos puede ser generada por un transductor curvado o por múltiples transductores en una matriz en fases (curvada o recta).

Los efectos del tratamiento a base de electrodos o de transductores pueden incluir ablación y/o alteración o daño no ablativo (por ejemplo, mediante calentamiento sostenido y/o calentamiento resistivo). Por ejemplo, un procedimiento de tratamiento puede incluir elevar la temperatura de las fibras neurales hasta una temperatura objetivo por encima de un primer umbral para lograr una alteración no ablativa, o por encima de un segundo umbral, más alto, para lograr la ablación. La temperatura objetivo puede ser más alta que la temperatura corporal (por ejemplo, aproximadamente 37 °C) pero inferior a aproximadamente 45 °C para la alteración no ablativa, y la temperatura objetivo puede ser mayor de aproximadamente 45 °C para la ablación. Calentar el tejido a una temperatura comprendida entre aproximadamente la temperatura corporal y aproximadamente 45 °C puede inducir una alteración no ablativa, por ejemplo, a través del calentamiento moderado de las fibras neurales objetivo o de estructuras vasculares o lumbales que perfunden las fibras neurales objetivo. En los casos en los que las estructuras vasculares se ven afectadas, se puede negar a las fibras neuronales objetivo la perfusión, lo que resulta en una necrosis del tejido neural. El calentamiento del tejido a una temperatura objetivo superior a aproximadamente 45 °C (por ejemplo, superior a aproximadamente 60 °C) puede inducir la ablación, por ejemplo, a través del calentamiento sustancial de las fibras neurales objetivo o de estructuras vasculares o lumbales que perfunden las fibras objetivo. En algunos pacientes, puede ser deseable calentar el tejido a temperaturas que sean suficientes para eliminar las fibras neurales objetivo o las estructuras vasculares o lumbales, pero que sean menores de aproximadamente 90 °C (por ejemplo, menores de aproximadamente 85 °C, menores de aproximadamente 80 °C, o menores de aproximadamente 75 °C).

La neuromodulación renal puede incluir una modalidad de tratamiento de base química, solo o en combinación con otra modalidad de tratamiento. La neuromodulación que utiliza un tratamiento con base química puede incluir administrar uno o más productos químicos (por ejemplo, fármacos u otros agentes) al tejido en una ubicación de tratamiento, de una manera que se module la función neural. El producto químico, por ejemplo, puede seleccionarse para afectar a la ubicación del tratamiento, en general, o para afectar selectivamente a algunas estructuras en la ubicación del tratamiento sobre otras estructuras. El producto químico, por ejemplo, puede ser guanetidina, etanol, fenol, una neurotoxina u otro agente adecuado seleccionado para alterar, dañar o alterar los nervios. Se pueden utilizar una variedad de técnicas adecuadas para administrar productos químicos al tejido en un lugar de tratamiento. Por ejemplo, los productos químicos pueden ser suministrados a través de una o más agujas que se originan en el exterior del cuerpo o en el interior de los vasos o de otros lúmenes del cuerpo. En un ejemplo intravascular, se puede utilizar un catéter para posicionar de manera intravascular un elemento terapéutico que incluye una serie de agujas (por ejemplo, microagujas) que se pueden retraer o bloquear de otra manera antes del despliegue. En otras realizaciones, se puede introducir una sustancia química en el tejido en una ubicación de tratamiento por medio de una difusión simple a través de la pared del lumen del cuerpo, la electroforesis u otro mecanismo adecuado. Se pueden utilizar técnicas similares para introducir productos químicos que no están configurados para causar neuromodulación, sino más bien para facilitar la neuromodulación a través de otra modalidad de tratamiento.

Volviendo a la figura 1, en otra realización, el sistema 100 puede ser un sistema de colocación de estent. Por ejemplo, el catéter 102 puede ser un catéter de colocación de estent y el elemento 112 de neuromodulación puede ser un elemento de colocación de estent. El elemento de colocación de estent puede incluir un balón de dilatación (no mostrado) con un estent expandible mediante balón dispuesto sobre el mismo. El catéter de administración de estent puede incluir asimismo la empuñadura 110 conectada operativamente al eje 108 a través de la porción de extremo proximal 108a. El eje 108 puede estar configurado para ubicar el elemento de colocación de estent por vía intravascular en una ubicación de tratamiento en el interior de un lumen corporal (por ejemplo, una arteria coronaria) o cerca del mismo. La empuñadura 110 puede estar configurada para ayudar en el suministro y el despliegue del estent en la ubicación del tratamiento. El sistema de colocación de estent puede, en al menos algunos casos, estar sin la consola 104 o el cable 106.

El estent del elemento de colocación de estent puede ser cualquier estent expandible mediante balón como es conocido por un experto en la técnica. En una realización, por ejemplo, el estent se forma a partir de un solo cable que forma una senoide continua. El estent puede incluir un recubrimiento dispuesto sobre la superficie del estent. El recubrimiento puede incluir un polímero y/o un agente terapéutico. En una realización, el recubrimiento incluye un polímero Biolinx™ mezclado con un fármaco limus. En otra realización, el estent es un estent relleno de fármaco que tiene un lumen relleno con un agente terapéutico. También son posibles otras configuraciones, tales como configuraciones en las que el elemento de colocación de estent no incluye un estent dispuesto en un balón de dilatación.

Esta descripción no pretende ser exhaustiva o limitar la presente tecnología a las formas precisas descritas en el presente documento. Aunque las realizaciones específicas se describen en el presente documento con fines ilustrativos, son posibles diversas modificaciones equivalentes sin desviarse de la presente tecnología, como reconocerán los expertos en la materia. En algunos casos, las estructuras y funciones bien conocidas no se han mostrado y/o descrito en detalle para evitar oscurecer innecesariamente la descripción de las realizaciones de la presente tecnología. Aunque las etapas de los métodos pueden presentarse en el presente documento en un orden particular, en realizaciones alternativas las etapas pueden tener otro orden adecuado. De manera similar ciertos aspectos de la presente tecnología dados a conocer en el contexto de realizaciones particulares pueden ser combinados o eliminados en otras realizaciones. Además, aunque las ventajas asociadas con ciertas realizaciones pueden haberse dado a conocer en el contexto de esas realizaciones, otras realizaciones también pueden mostrar dichas ventajas, y no todas las realizaciones necesitan necesariamente mostrar dichas ventajas u otras ventajas descritas en el presente documento para que estén dentro del alcance de la presente tecnología. Por consiguiente, esta invención y tecnología asociada pueden abarcar otras realizaciones.

A lo largo de esta descripción, los términos singulares "un", "una", "el" y "la" incluyen referentes plurales a menos que el contexto indique claramente lo contrario. De manera similar, a menos que la palabra "o" se limite expresamente a significar solo un artículo exclusivo de los otros artículos en referencia a una lista de dos o más artículos, entonces la utilización de "o" en dicha lista debe ser interpretada como que incluye (a) cualquier elemento individual de la lista, (b) todos los elementos de la lista, o (c) cualquier combinación de los elementos de la lista. Además, los términos "que comprende" o "que comprenden" y similares se utilizan a lo largo de esta descripción con el significado de que incluyen al menos la característica o características citadas, de tal manera que no se excluya ningún número mayor de la misma característica o de las mismas características y/o uno o más tipos adicionales de características. Los términos direccionales, tales como "superior", "inferior", "frontal", "trasero", "vertical" y "horizontal", se pueden utilizar en el presente documento para expresar y aclarar la relación entre varios elementos. Se debe entender que dichos términos no denotan orientación absoluta. La referencia en el presente documento a "una realización", o formulaciones similares significa que una característica, estructura, operación o característica particular descrita con respecto a la realización puede estar incluida en al menos una realización de la presente tecnología. Por lo tanto, las apariciones de dichas frases o formulaciones en este documento no se refieren necesariamente a la misma realización.

REIVINDICACIONES

1. Un catéter de neuromodulación, que comprende:

un eje alargado que incluye

5 dos o más primeras formas cortadas (128), estando configuradas las primeras formas cortadas para resistir, al menos parcialmente, la deformación en respuesta a la compresión sobre el eje a lo largo del eje longitudinal del eje, la tensión sobre el eje a lo largo del eje longitudinal, y la torsión sobre el eje en la primera dirección circunferencial perpendicular al eje longitudinal, y

10 dos o más segundas formas cortadas (130), estando configuradas las segundas formas cortadas para resistir, al menos parcialmente, la deformación en respuesta a la compresión sobre el eje a lo largo del eje longitudinal, la torsión sobre el eje en la primera dirección circunferencial, y la torsión sobre el eje en la segunda dirección circunferencial opuesta a la primera dirección circunferencial; y

un elemento de neuromodulación conectado operativamente al eje por medio de una porción extrema distal del eje en el que las formas cortadas primera y segunda se intercalan a lo largo de una trayectoria helicoidal que se extiende alrededor del eje longitudinal,

15 las primeras formas cortadas son menos resistentes a la deformación en respuesta a la torsión sobre el eje en la segunda dirección circunferencial que las segundas formas cortadas, y

las segundas formas cortadas son menos resistentes a la deformación en respuesta a la tensión sobre el eje a lo largo del eje longitudinal que las primeras formas cortadas.

2. El catéter de neuromodulación de la reivindicación 1, en el que:

20 el eje incluye un hipotubo (120) que tiene un espesor de pared; y

las formas cortadas primera y segunda se extienden, al menos parcialmente, a través del espesor de la pared del hipotubo, o

en el que las formas cortadas primera y segunda se alternan a lo largo de la trayectoria helicoidal en un patrón, o

en el que las formas cortadas primera y segunda son porciones de un corte continuo, o

25 en el que: las primeras formas cortadas son sinusoidales y tienen amplitudes con una primera orientación con respecto al eje longitudinal; y

las segundas formas cortadas son sinusoidales y tienen amplitudes con una segunda orientación con respecto al eje longitudinal, siendo la segunda orientación diferente de la primera orientación, o

30 en el que se selecciona una densidad axial de las formas cortadas primera y segunda a lo largo del eje longitudinal, para facilitar el suministro intravascular del elemento de neuromodulación a una ubicación de tratamiento en el interior de una arteria renal de un paciente humano o de otra manera próxima a la misma, por medio de una aproximación transradial.

3. El catéter de neuromodulación de la reivindicación 1, en el que:

35 la trayectoria helicoidal se extiende a lo largo de una porción del eje longitudinal correspondiente a un segmento (127) del eje (108); y

40 se selecciona una distancia a lo largo del eje longitudinal entre el elemento de neuromodulación y el segmento para hacer que el segmento esté al menos próximo a una región con un ángulo relativamente agudo o, de otra manera relativamente tortuosa de una aproximación transradial cuando el elemento de neuromodulación se encuentre posicionado operativamente en una ubicación de tratamiento en el interior de una arteria renal de un paciente humano o de otra manera próximo a la misma,

en el que típicamente la región con un ángulo relativamente agudo o de otra manera relativamente tortuosa está en el interior de una arteria subclavia de un paciente humano o de otra manera próxima a la misma.

4. El catéter de neuromodulación de la reivindicación 1, en el que:

el eje incluye una región no cortada (201); y

45 las formas cortadas primera y segunda están posicionadas a lo largo de porciones de la trayectoria helicoidal a cada lado de la región no cortada,

en el que, típicamente, el eje incluye una abertura de salida del alambre de guía (216, 220, 224) en la región no cortada.

5. El catéter de neuromodulación de la reivindicación 1, en el que:

el eje incluye un hipotubo (120) que tiene un espesor de pared;

5 las formas cortadas primera y segunda se extienden, al menos parcialmente, a través del espesor de la pared del hipotubo en un primer segmento del eje, estando el primer segmento en el interior de aproximadamente 3 centímetros del elemento de neuromodulación y teniendo una longitud comprendida entre aproximadamente 30 centímetros y aproximadamente 80 centímetros;

10 el eje incluye un segundo segmento proximal al primer segmento, teniendo el segundo segmento una longitud mayor de aproximadamente 40 centímetros; y

el hipotubo es menos resistente a la flexión en respuesta a la fuerza lateral en el primer segmento que en el segundo segmento.

6. El catéter de neuromodulación de la reivindicación 5, en el que el hipotubo no está cortado en el segundo segmento, o

15 en el que: el primer segmento tiene una longitud comprendida entre aproximadamente 40 centímetros y aproximadamente 70 centímetros; y el segundo segmento tiene una longitud mayor de aproximadamente 50 centímetros, o

en el que una densidad axial de las formas cortadas primera y segunda es coherente a lo largo de la longitud del primer segmento.

20 7. El catéter de neuromodulación de la reivindicación 5, en el que la densidad axial de las formas cortadas primera y segunda disminuye a lo largo de al menos una porción de la longitud del primer segmento hacia el segundo segmento,

en el que típicamente la densidad axial de las formas cortadas primera y segunda disminuye gradualmente a lo largo de toda la longitud del primer segmento hacia el segundo segmento.

25 8. El catéter de neuromodulación de la reivindicación 7, en el que:

las primeras formas cortadas individuales incluyen un primer pico (132, 170, 208) y un segundo pico (134, 172, 210) con una primera interfaz entre ellos (136, 174, 212);

las segundas formas cortadas individuales incluyen un tercer pico (138) y un cuarto pico (139) con una segunda interfaz (140) entre ellos;

30 un ángulo entre la primera interfaz y el eje longitudinal es mayor que un ángulo entre la segunda interfaz y el eje longitudinal; y

las longitudes de las segundas interfaces aumentan a lo largo de al menos una porción de la longitud del primer segmento hacia el segundo segmento,

35 en el que, típicamente: la densidad axial de las formas cortadas primera y segunda disminuye de manera gradual a lo largo de toda la longitud del primer segmento hacia el segundo segmento; y

las longitudes de las segundas interfaces aumentan gradualmente a lo largo de toda la longitud del primer segmento hacia el segundo segmento.

9. El catéter de neuromodulación de la reivindicación 1, en el que:

40 las primeras formas cortadas individuales incluyen un primer pico y un segundo pico con una primera interfaz entre ellos;

las segundas formas cortadas individuales incluyen un tercer pico y un cuarto pico con una segunda interfaz entre ellos;

un ángulo entre la primera interfaz y el eje longitudinal es mayor que un ángulo entre la segunda interfaz y el eje longitudinal

45 en el que, típicamente, el eje incluye una abertura de salida del alambre de guía en lugar del primer pico, el segundo pico, el tercer pico, el cuarto pico, o una combinación de los mismos, o

en el que, típicamente: la primera interfaz es perpendicular al eje longitudinal; y la segunda interfaz es paralela al eje longitudinal.

10. Un catéter de neuromodulación (102), que comprende:

un eje alargado (108) que se extiende a lo largo de un eje longitudinal (124), incluyendo el eje

5 dos o más primeras formas cortadas sinusoidales (128) que tienen amplitudes con una primera orientación con respecto al eje longitudinal, y

dos o más segundas formas cortadas sinusoidales que tienen amplitudes con una segunda orientación con respecto al eje longitudinal, siendo la segunda orientación diferente de la primera orientación; y

10 un elemento de neuromodulación (112) conectado operativamente al eje por medio de una porción extrema distal (108b) del eje,

en el que las formas cortadas primera y segunda están intercaladas a lo largo de una trayectoria helicoidal (126, 146) que se extiende alrededor del eje longitudinal.

11. El catéter de neuromodulación de la reivindicación 10, en el que la orientación de las primeras formas cortadas es perpendicular a la orientación de las segundas formas cortadas.

15 12. Un catéter de neuromodulación (102), que comprende:

un eje alargado (108) que incluye dos o más formas cortadas sinusoidales (128, 130, 202, 204, 168, 186); y

un elemento de neuromodulación (112) conectado operativamente al eje por medio de una porción extrema distal (108b) del eje,

en el que

20 las formas cortadas se distribuyen a lo largo de una trayectoria helicoidal (126, 146) que se extiende alrededor de un eje longitudinal (124) del eje; y las formas cortadas tienen una orientación perpendicular a la trayectoria helicoidal.

13. El catéter de neuromodulación de la reivindicación 12, en el que:

25 las formas cortadas individuales incluyen un primer pico (132, 170, 208) y un segundo pico (134, 172, 210) con una interfaz (136, 174, 212) entre ellos; y

la interfaz es perpendicular a la trayectoria helicoidal.

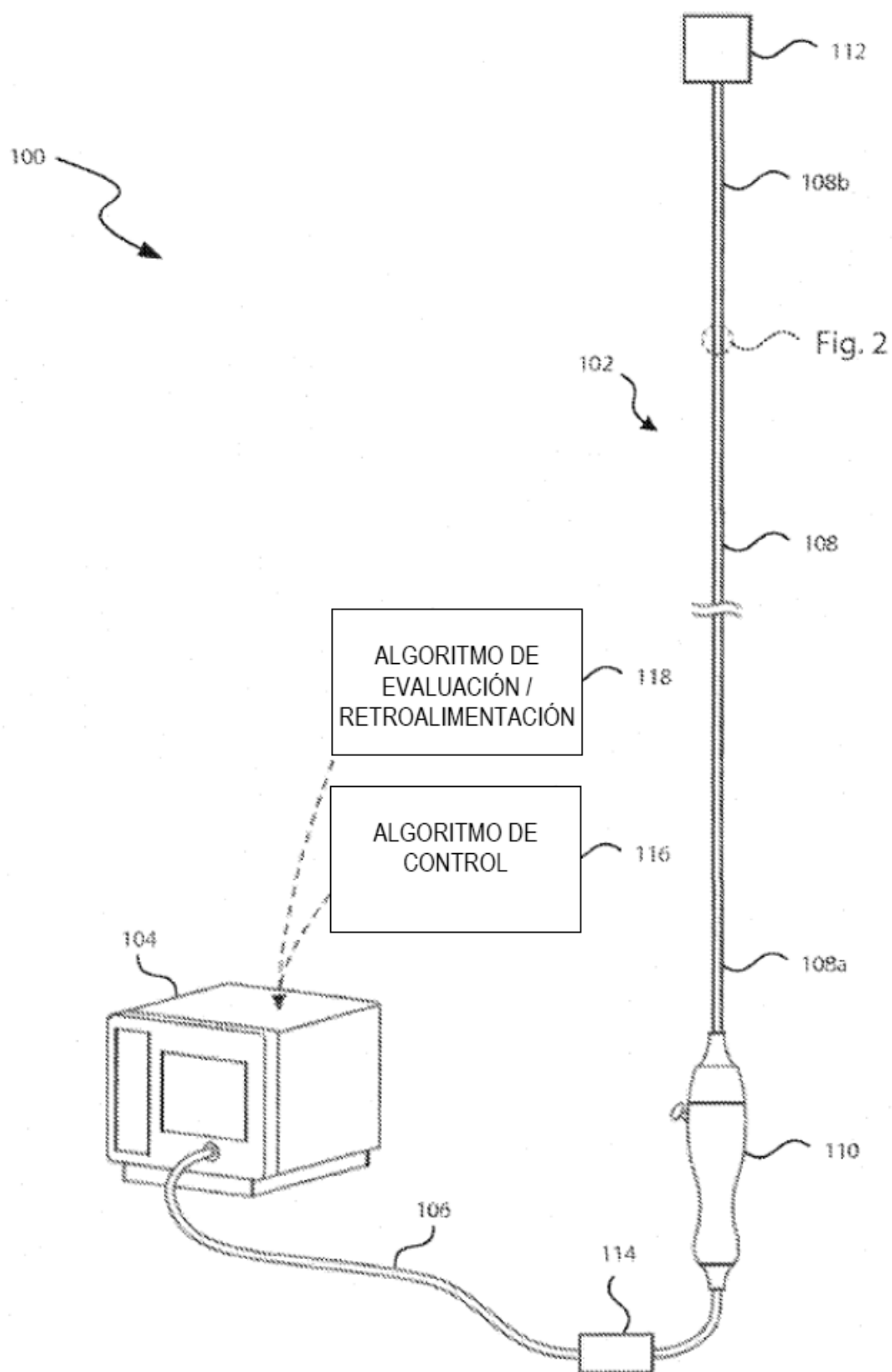


Fig. 1

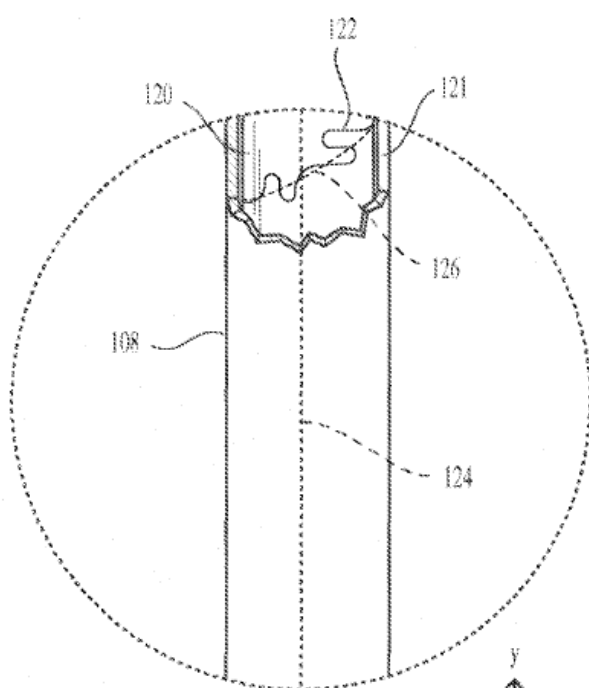


Fig. 2

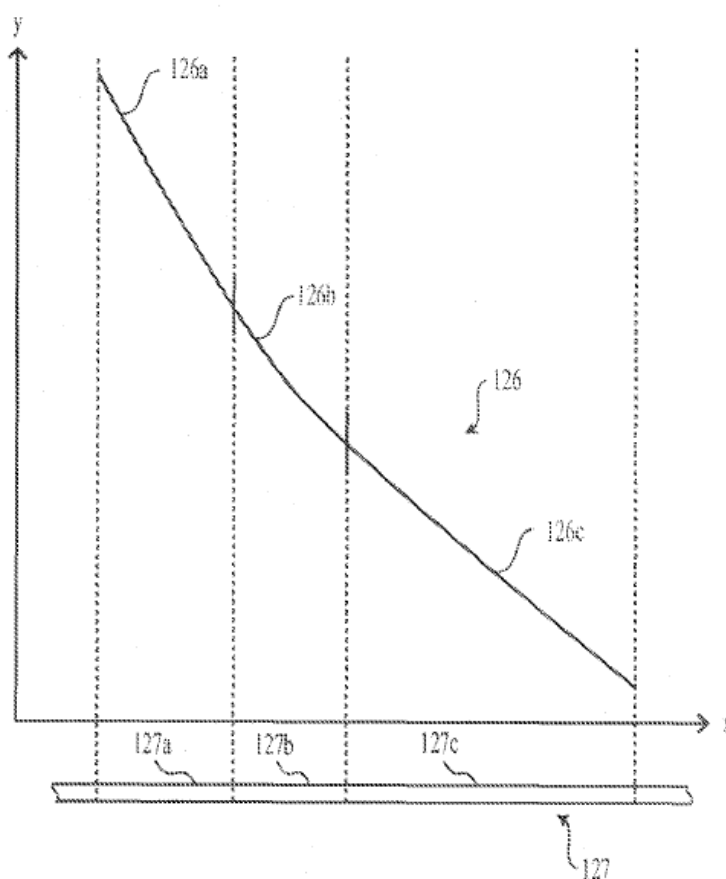


Fig. 3

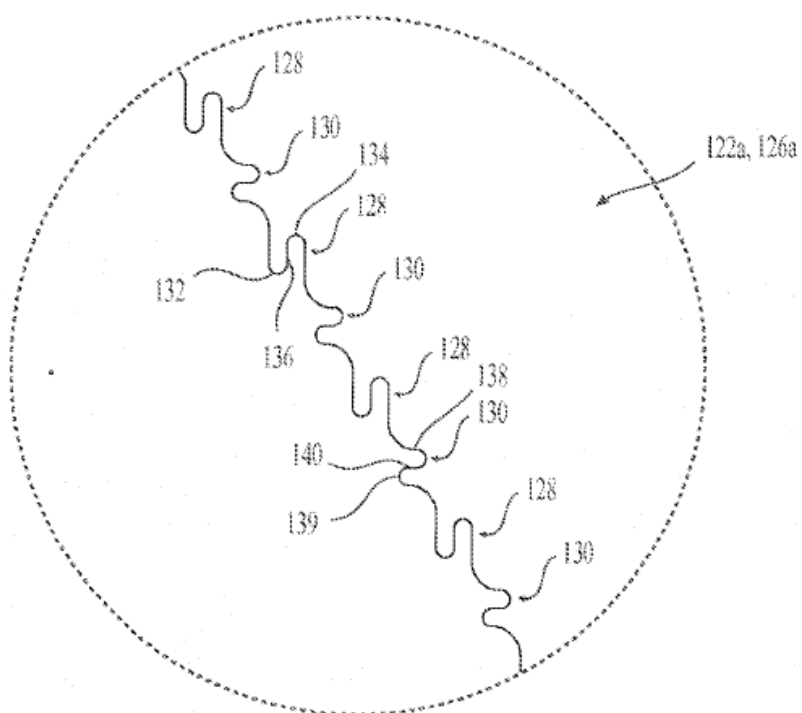


Fig. 4

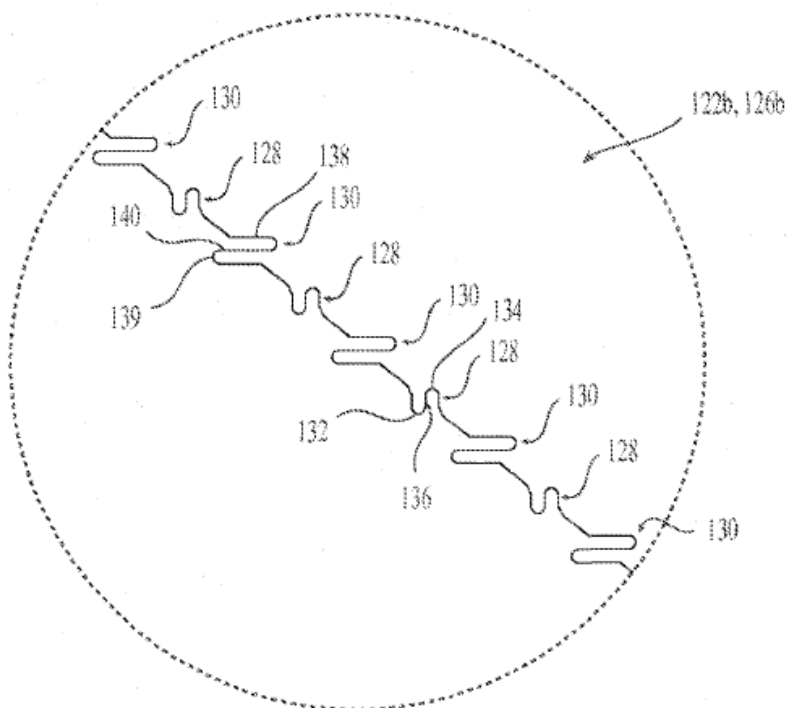


Fig. 5

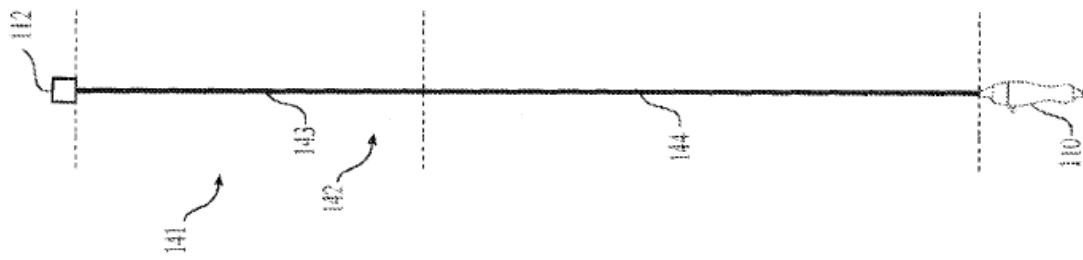


Fig. 6

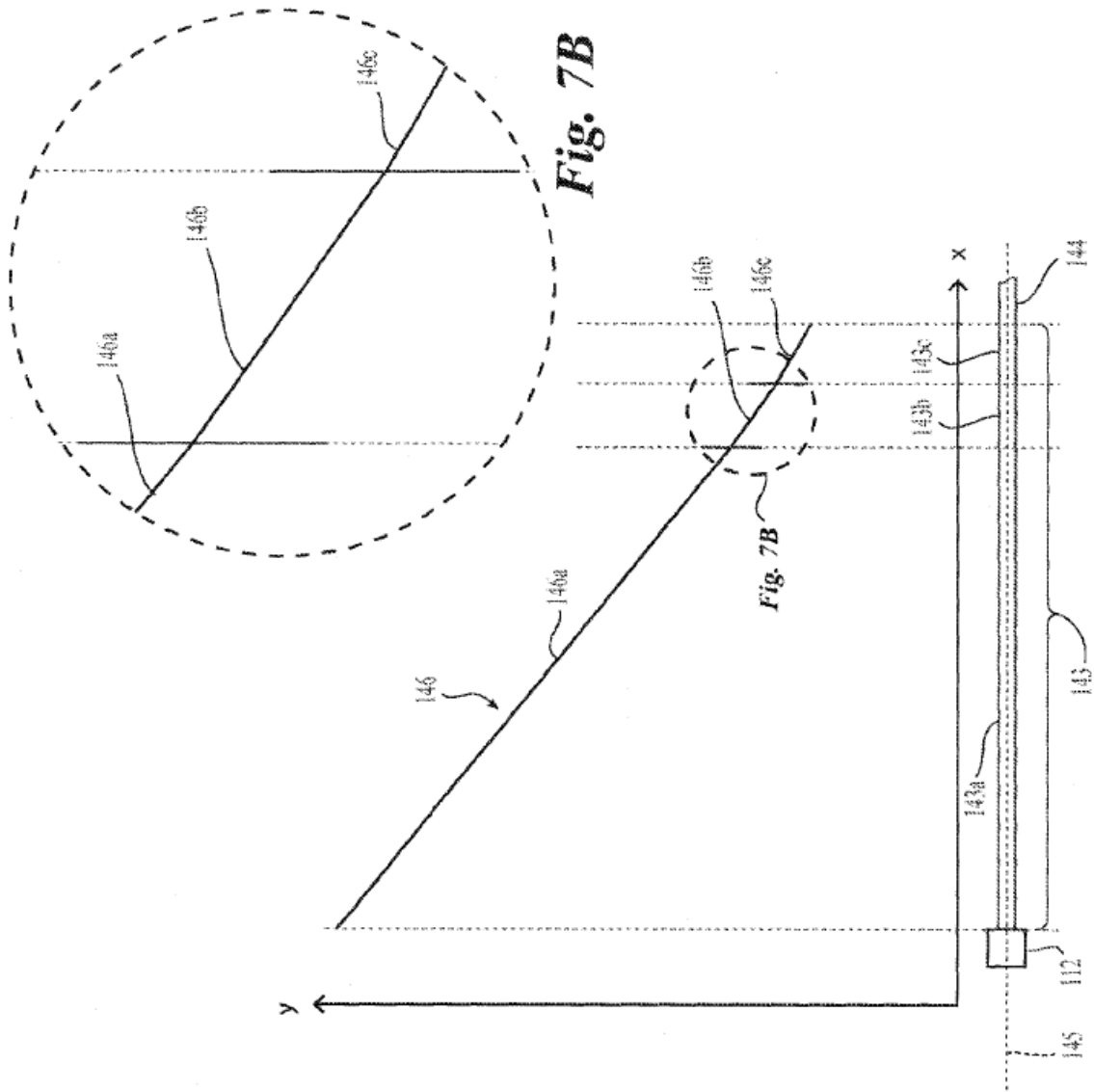


Fig. 7A

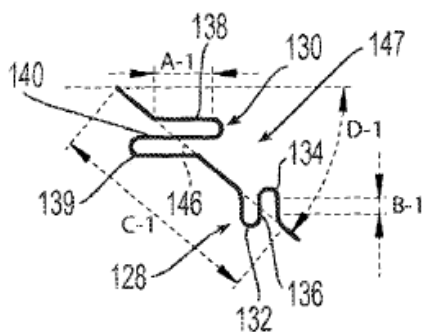


Fig. 8

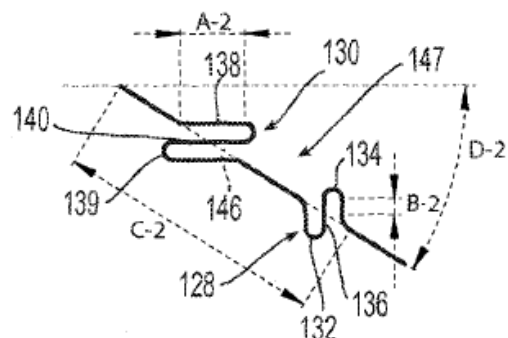


Fig. 9

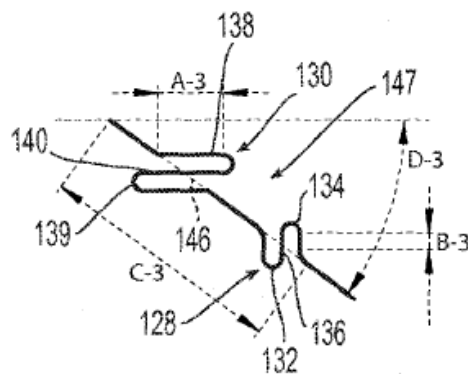


Fig. 10

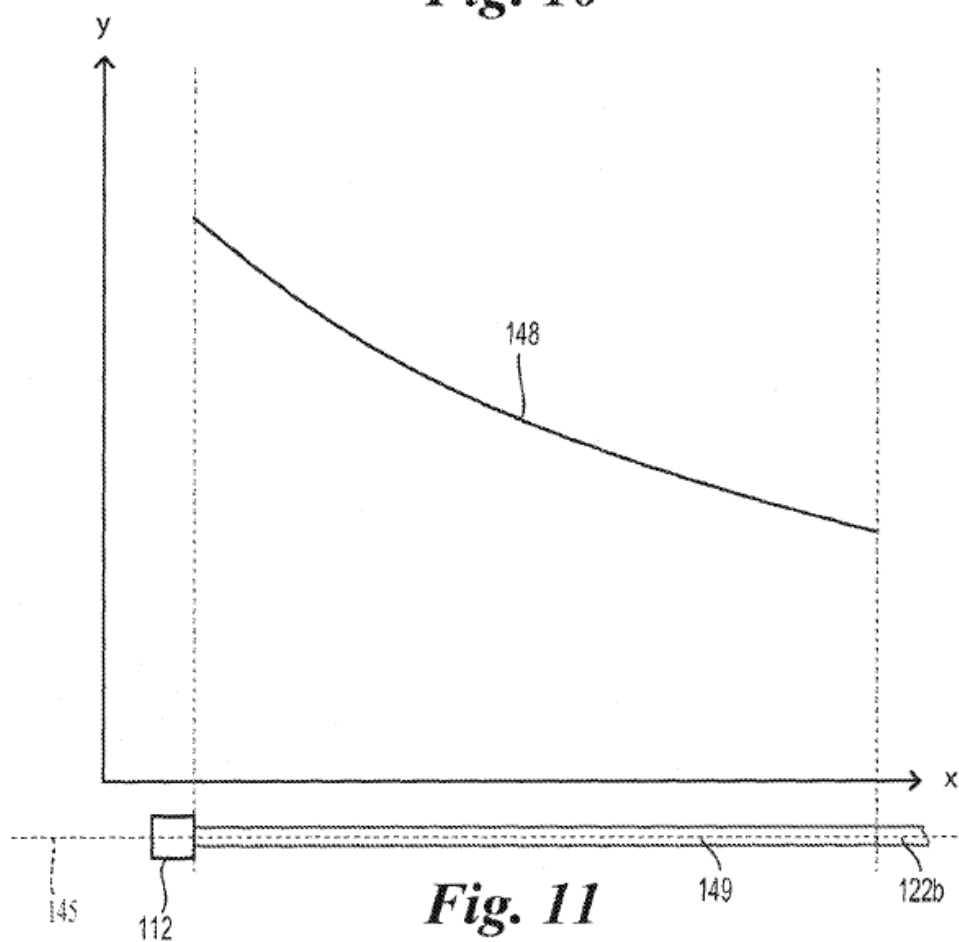
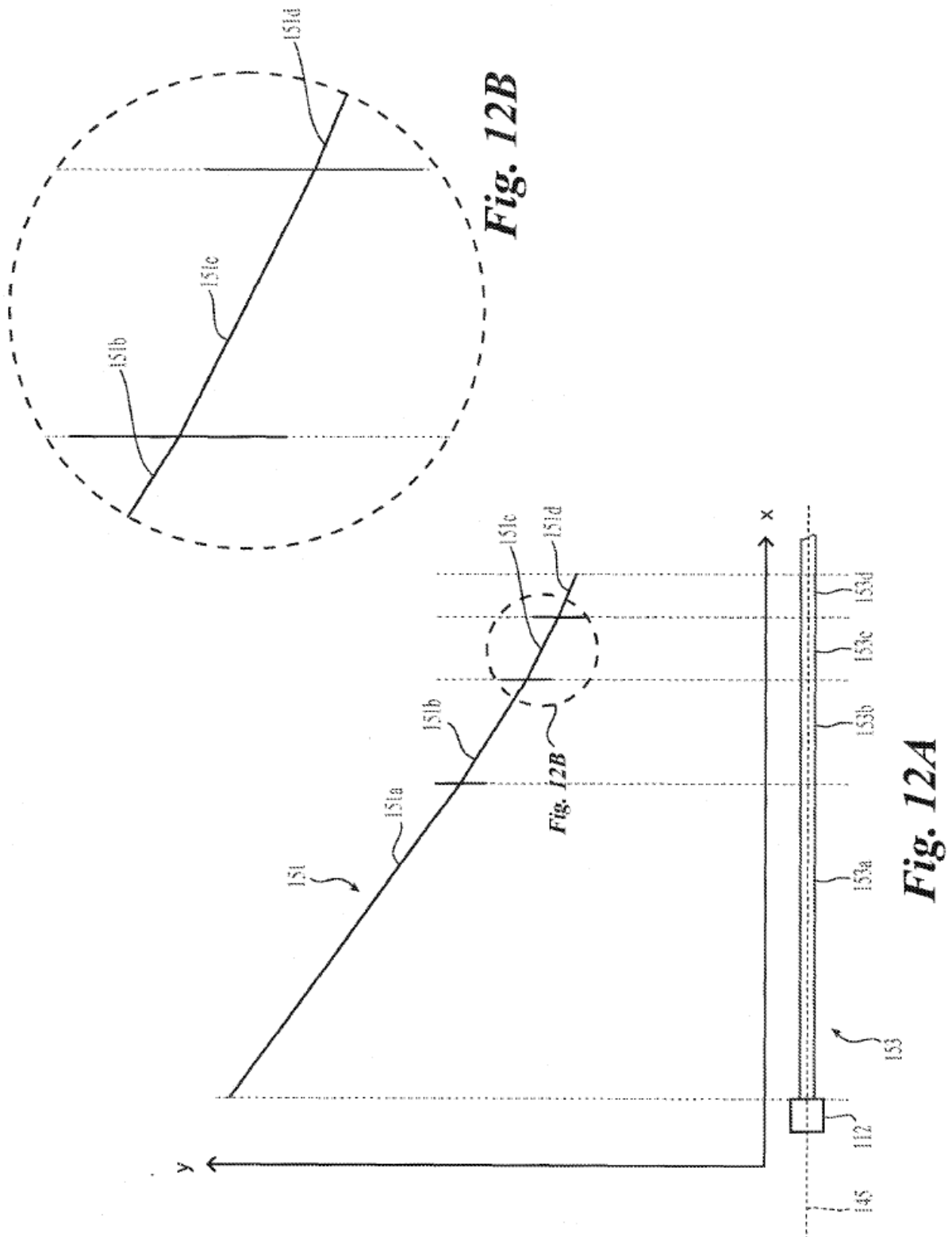


Fig. 11



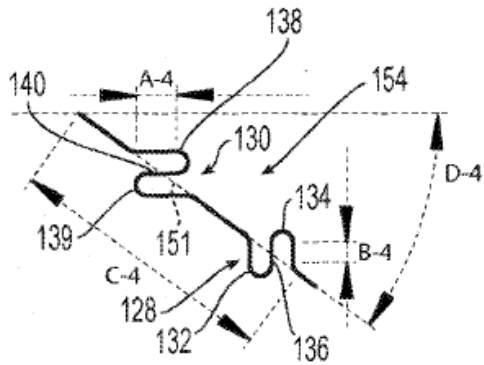


Fig. 13

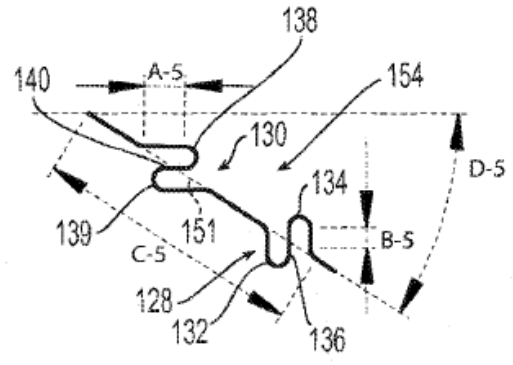


Fig. 14

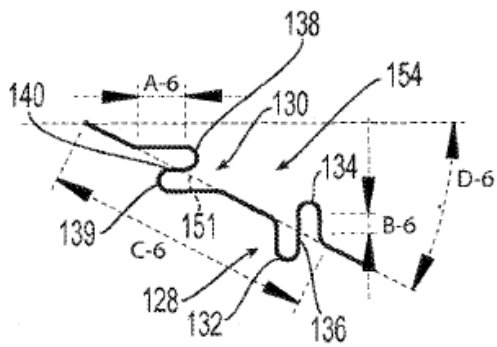


Fig. 15

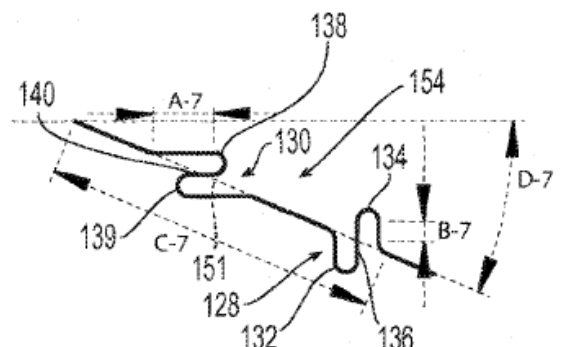
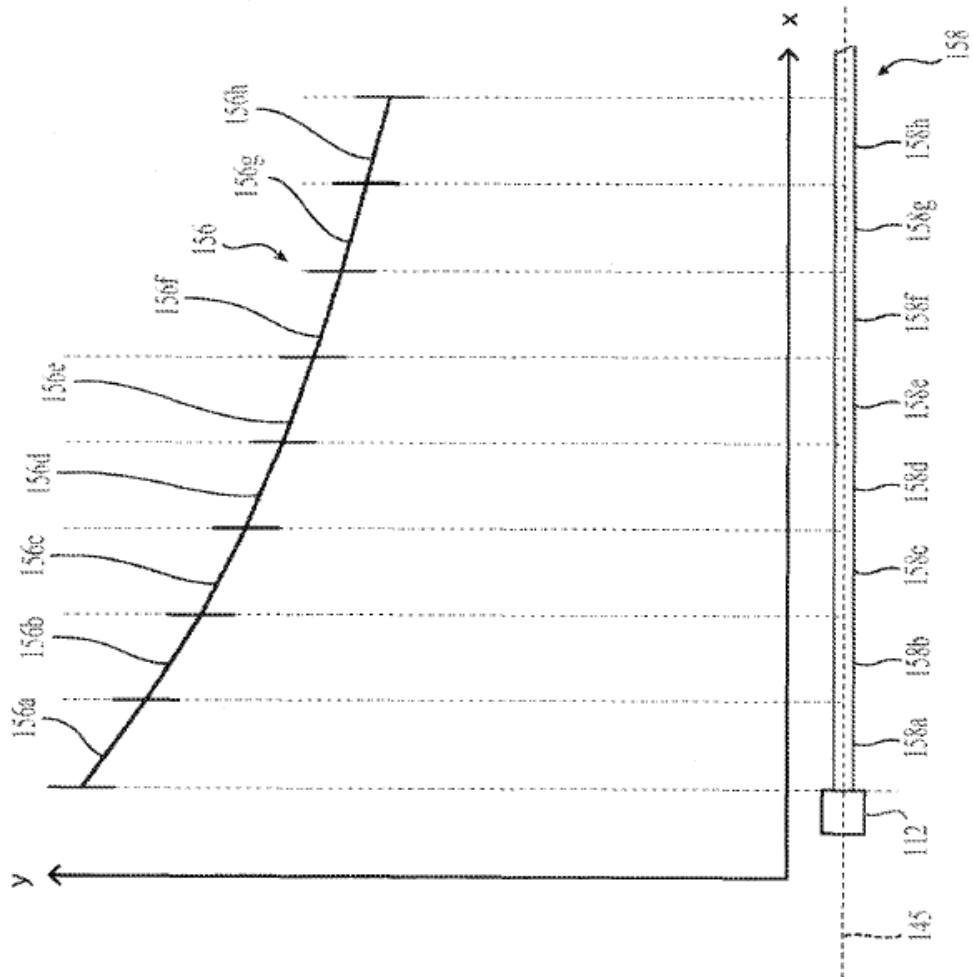
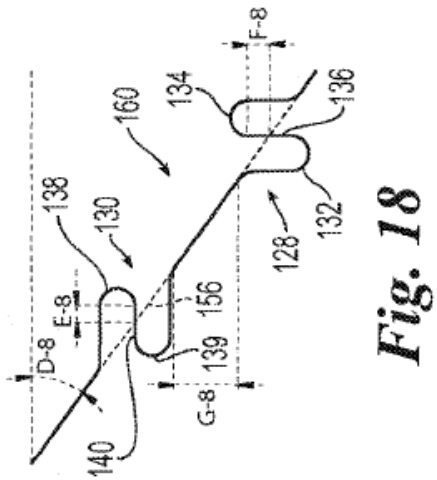


Fig. 16



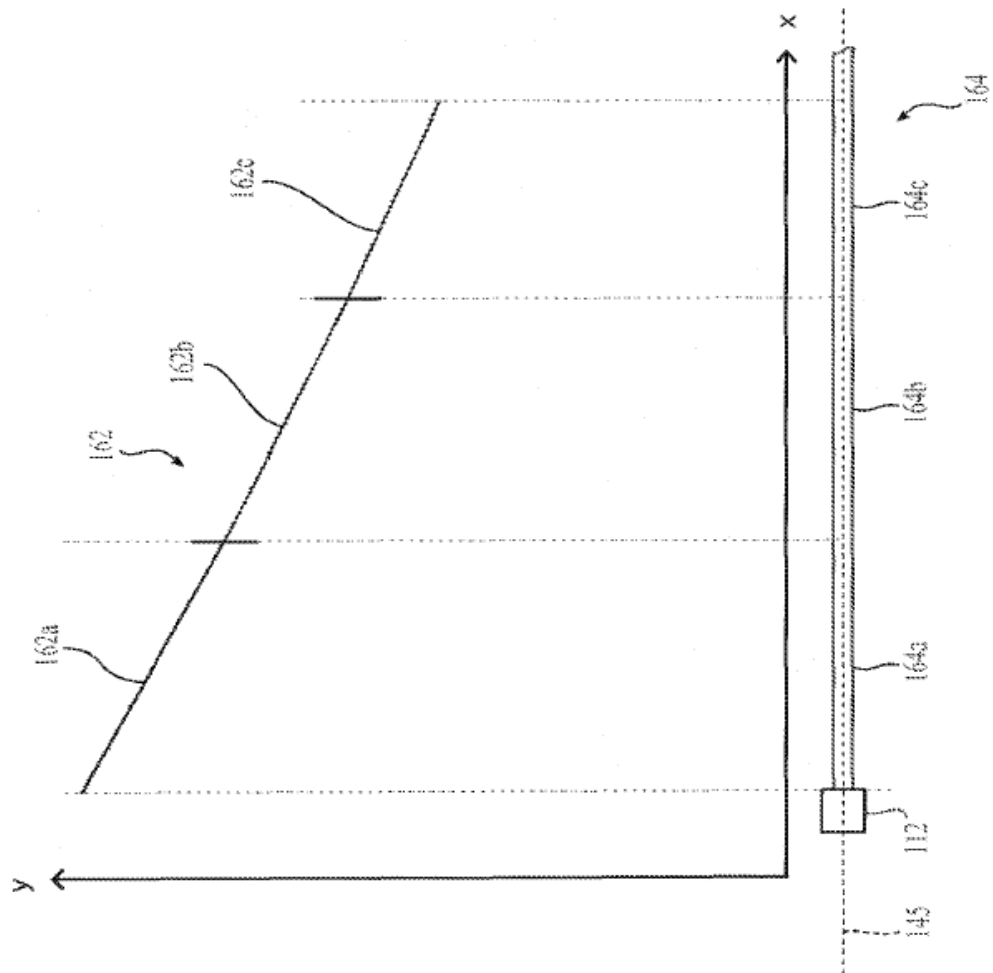


Fig. 19

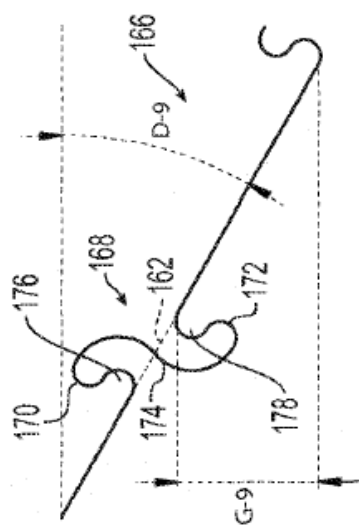
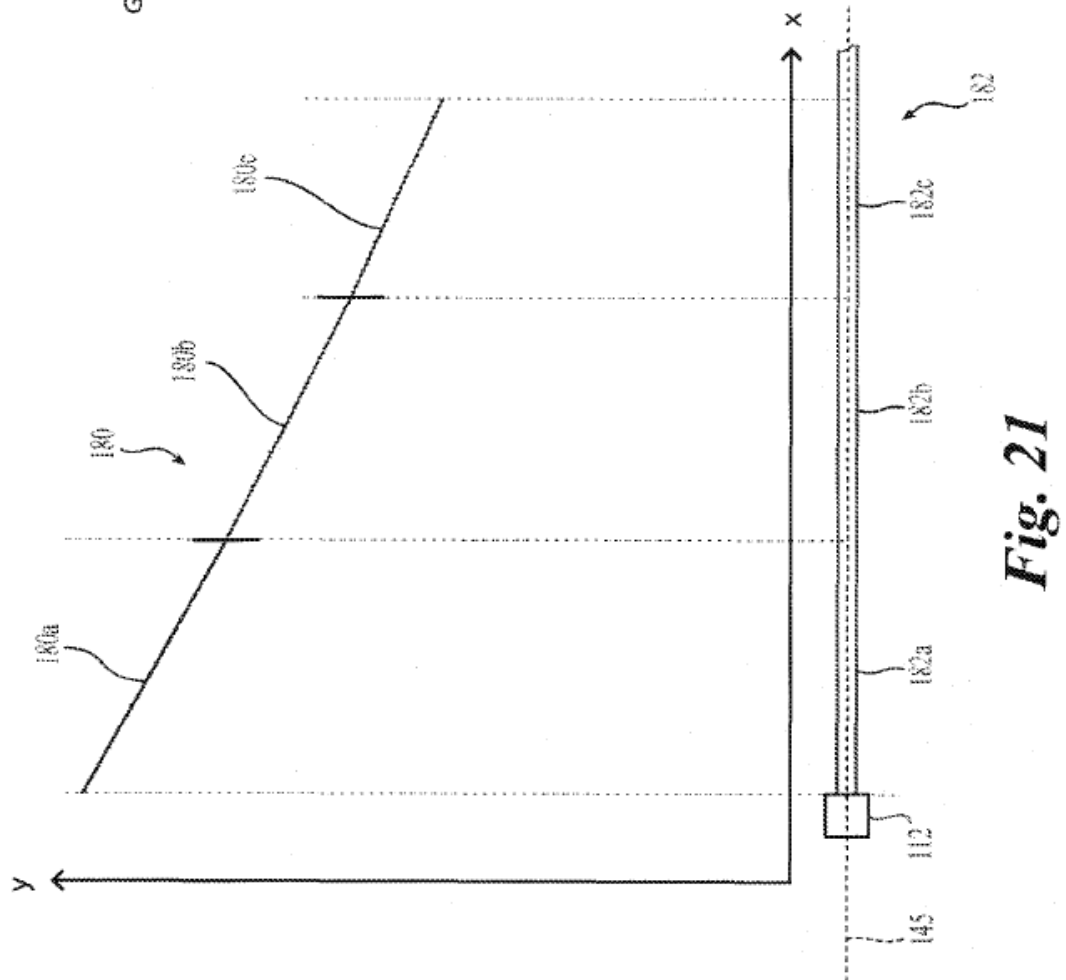
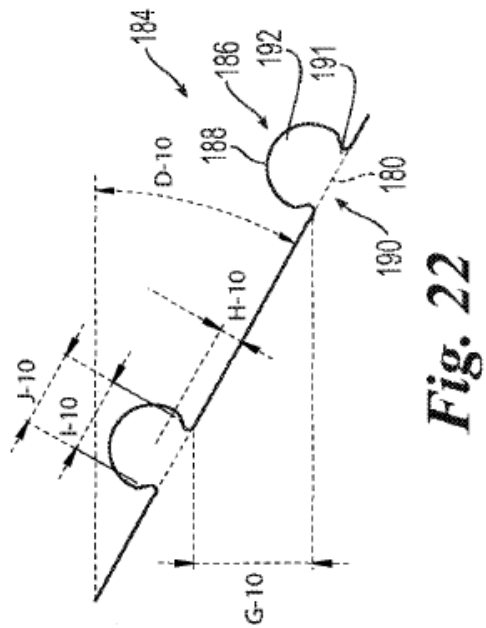


Fig. 20



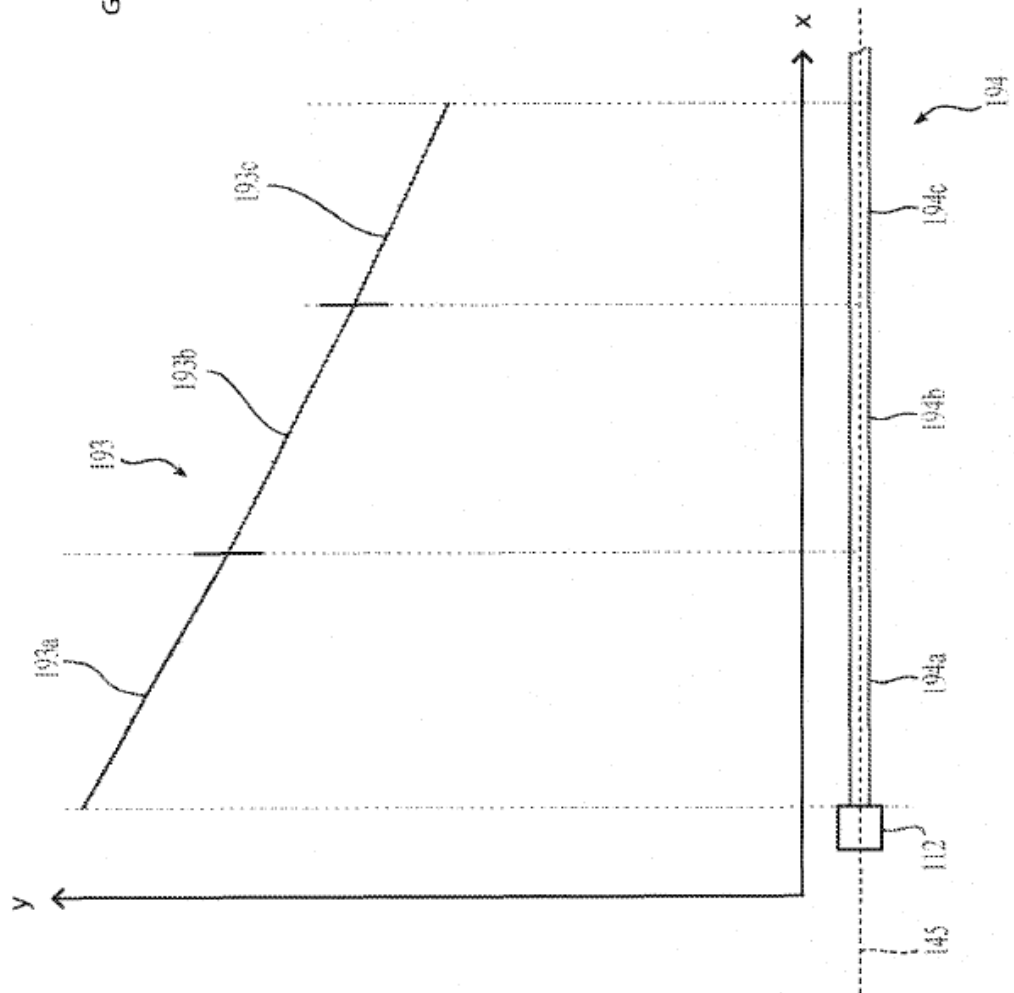


Fig. 23

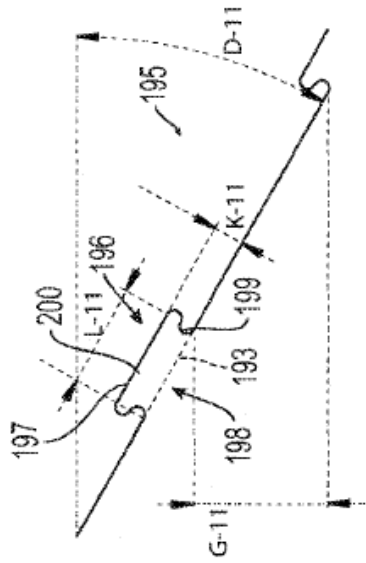


Fig. 24

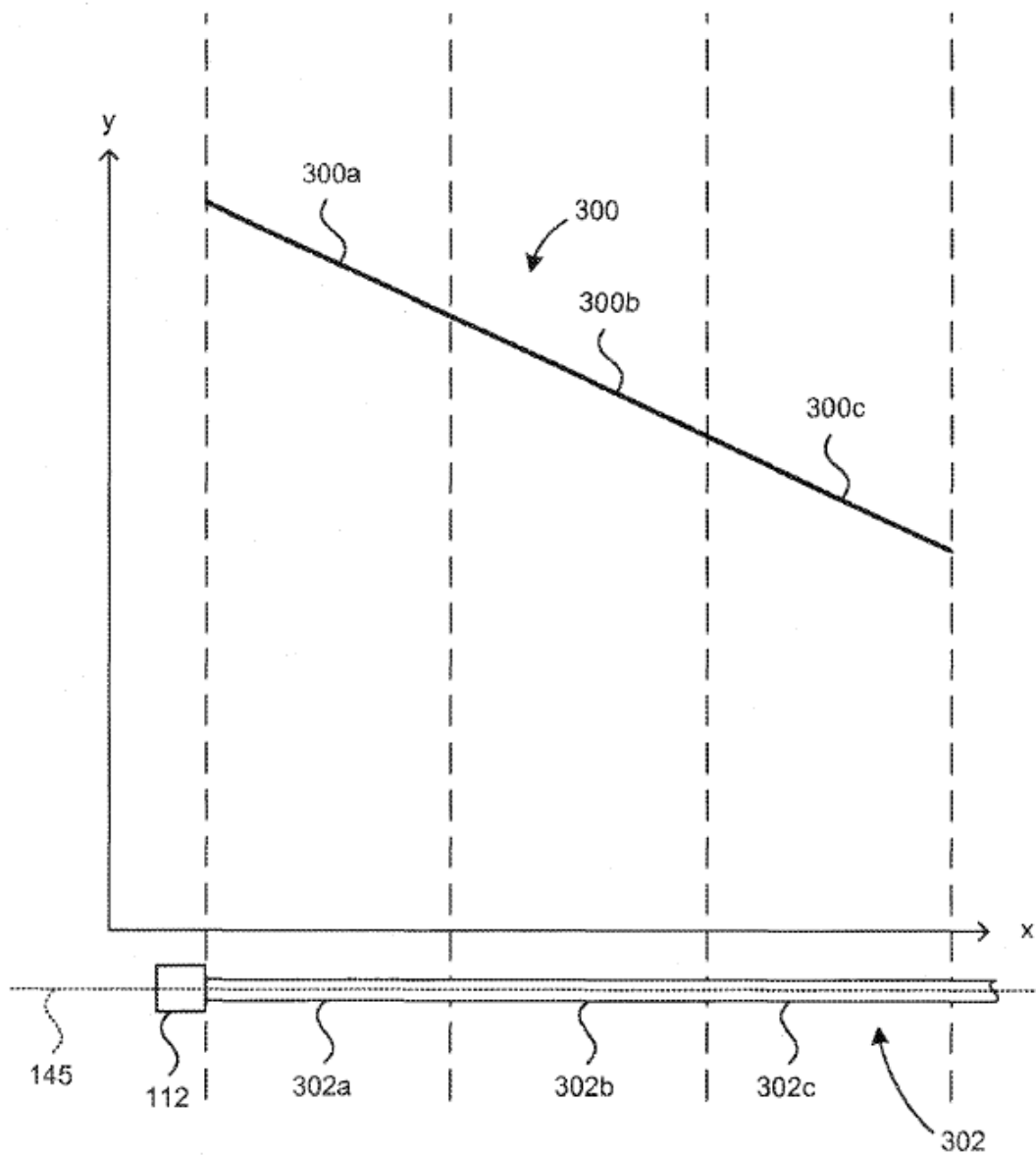


FIG. 24A

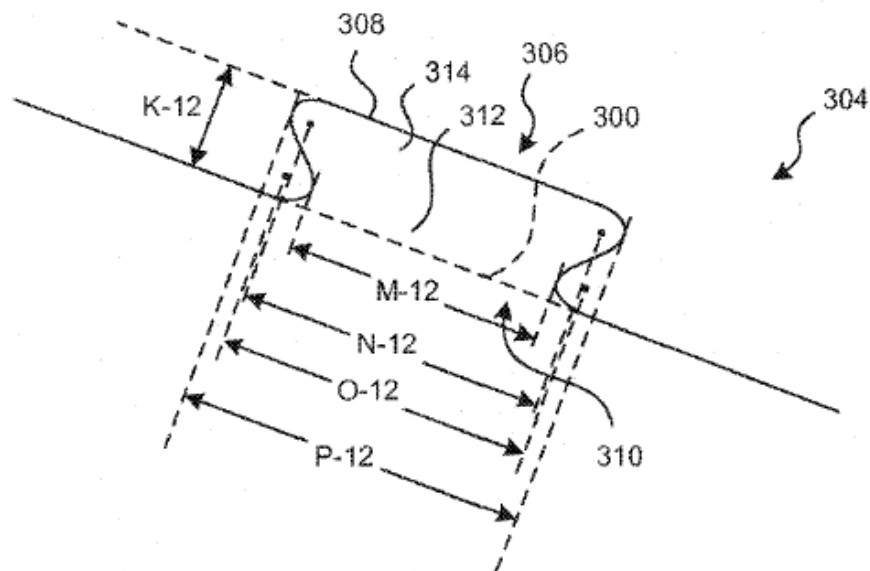


FIG. 24B

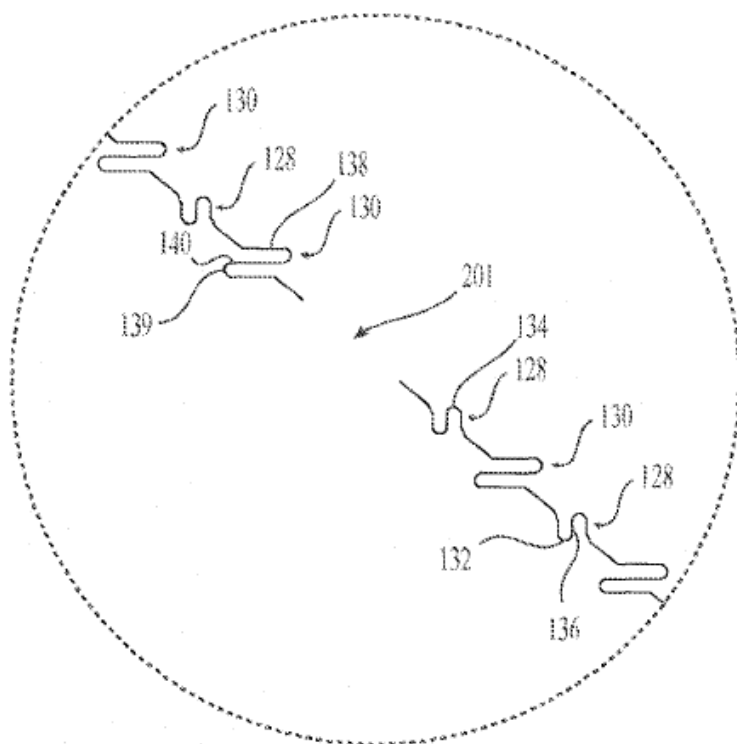


Fig. 25

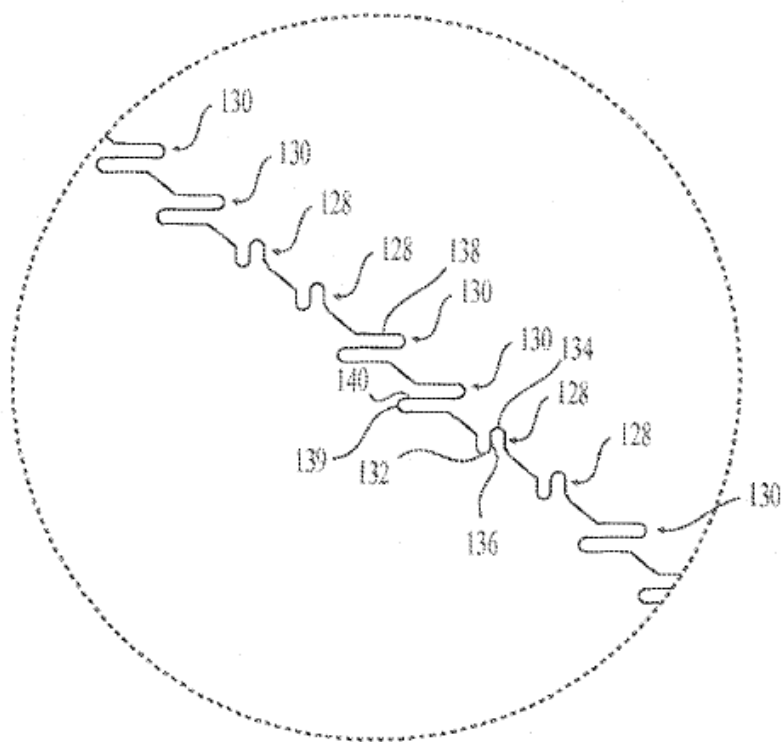


Fig. 26

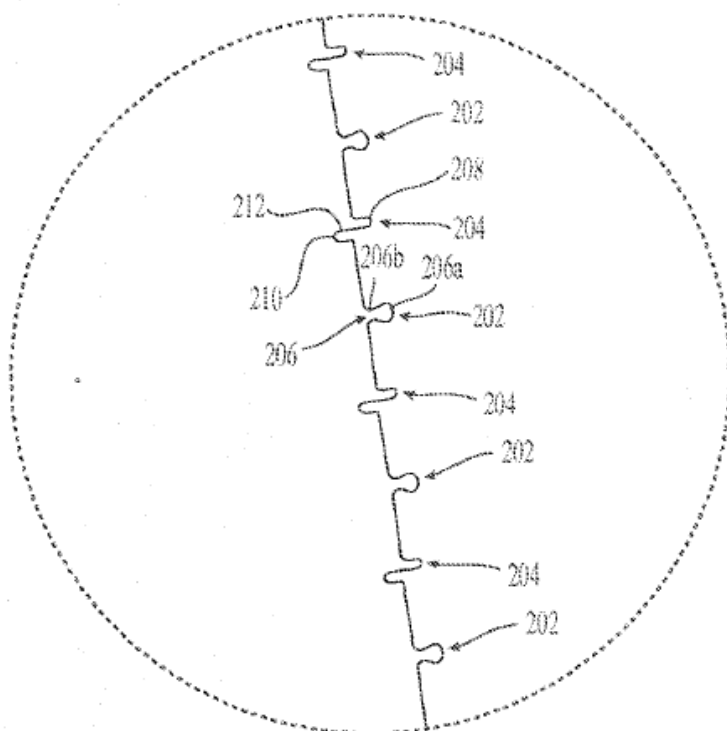


Fig. 27

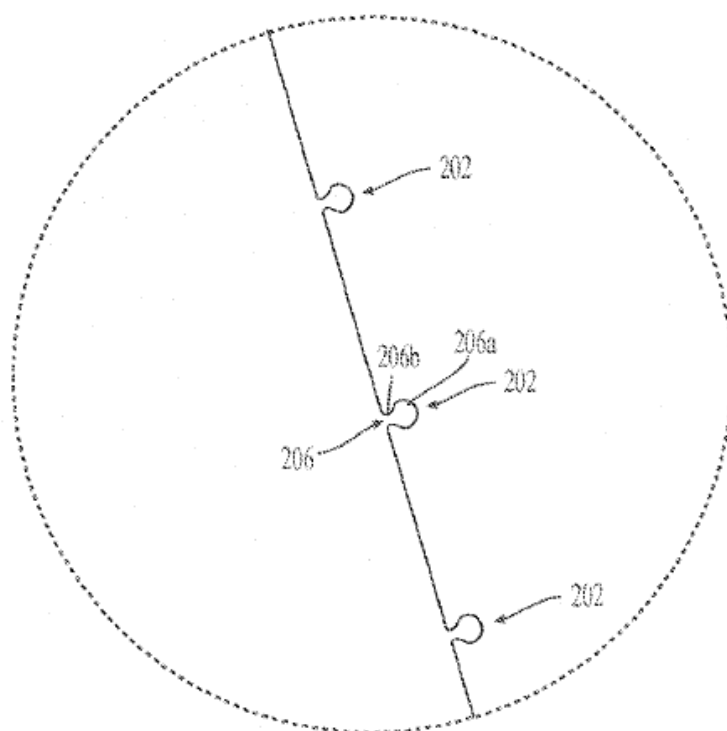
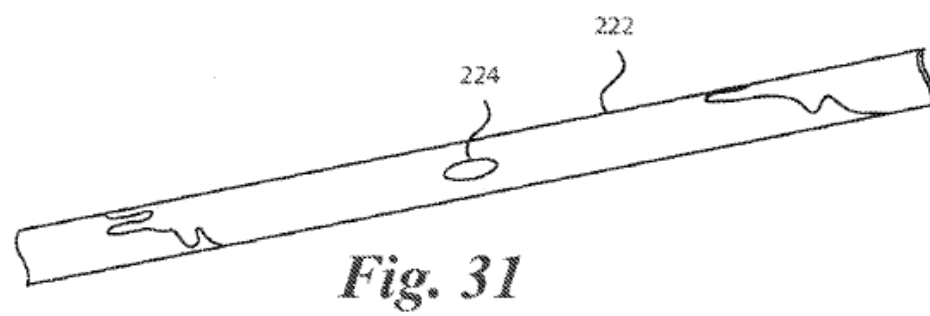
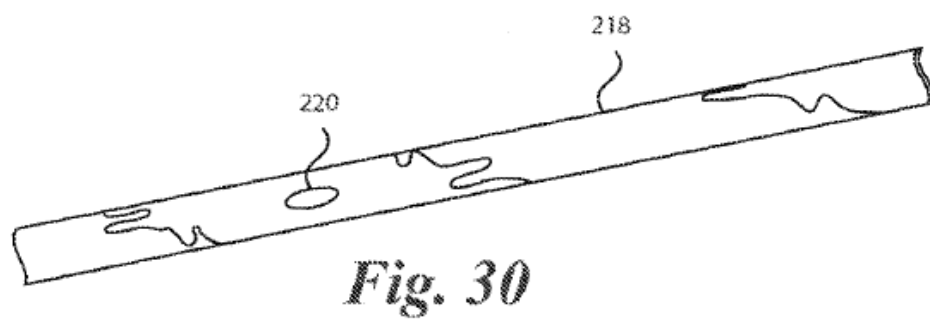
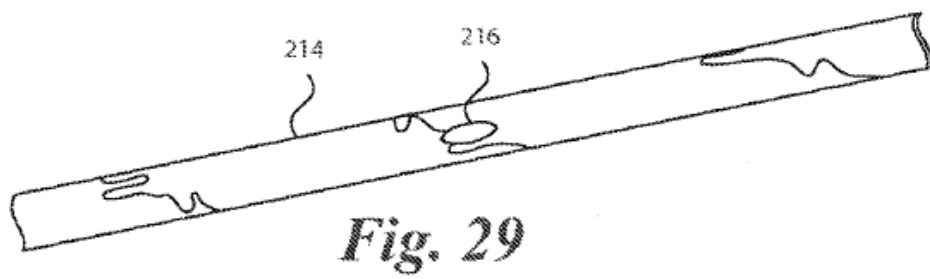


Fig. 28



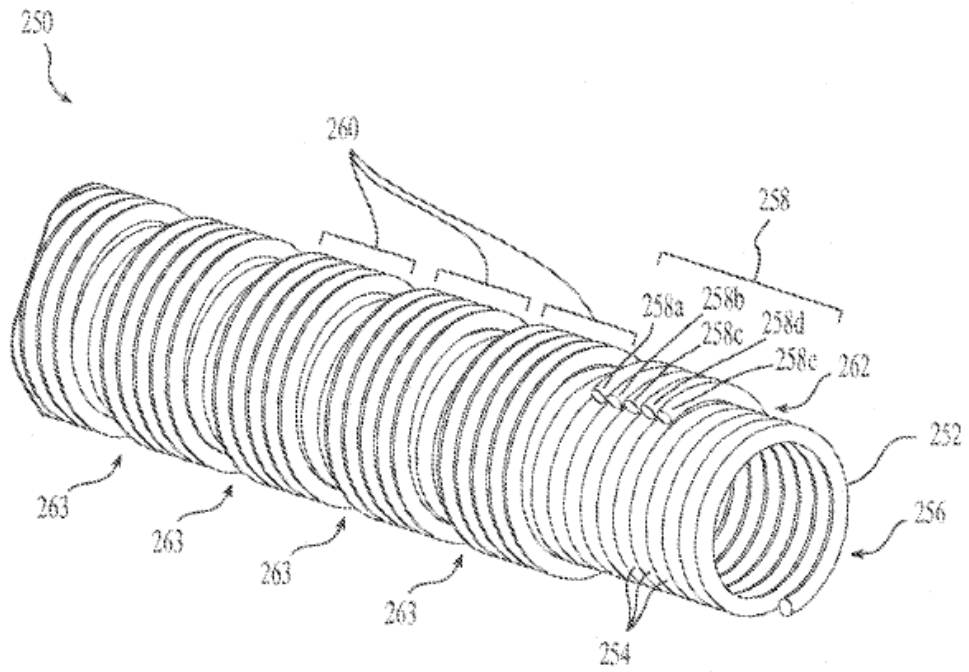


Fig. 32

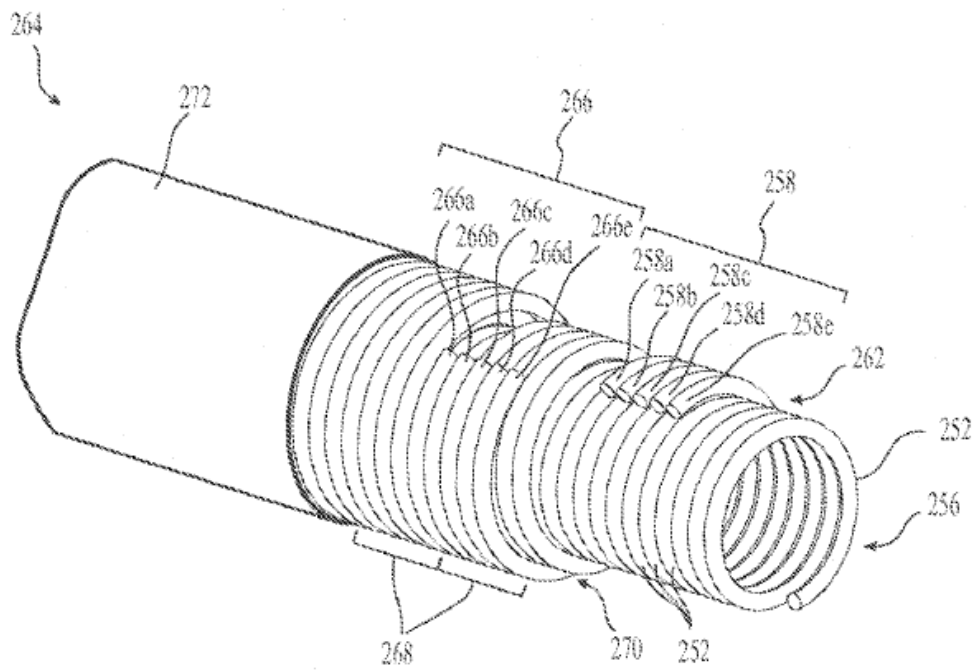


Fig. 33

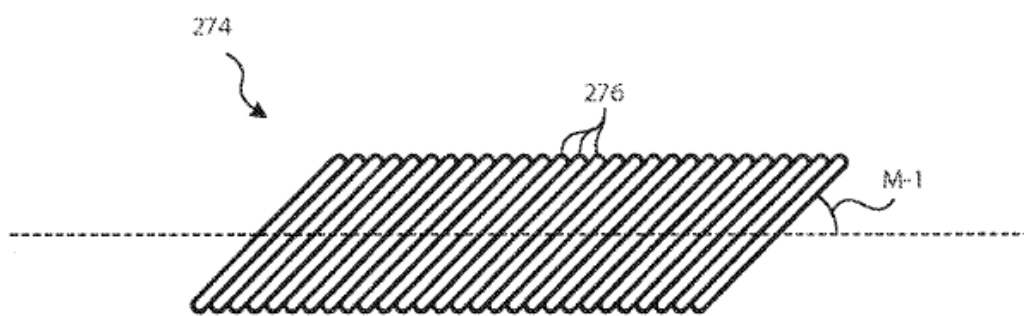


Fig. 34

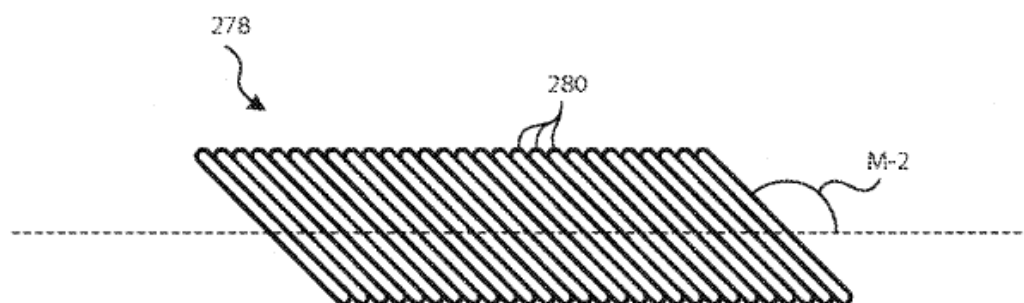


Fig. 35

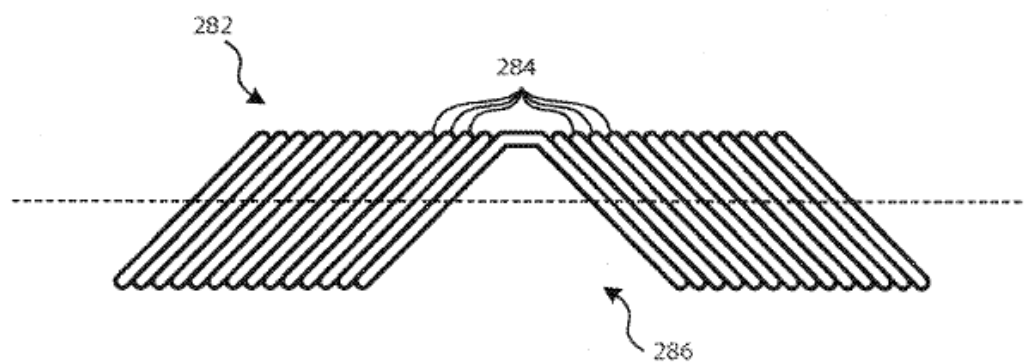


Fig. 36