

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 678 070**

51 Int. Cl.:

**A61B 17/00** (2006.01)

**A61B 34/30** (2006.01)

**A61B 17/29** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.08.2015 PCT/EP2015/069628**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.03.2016 WO16030457**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.08.2015 E 15762947 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.05.2018 EP 3027139**

54 Título: **Mecanismo de dirección de transmisión de par para una herramienta direccional**

30 Prioridad:

**27.08.2014 EP 14182381**

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

**08.08.2018**

73 Titular/es:

**STEERABLE INSTRUMENTS NV (100.0%)  
Poortakkerstraat 9c  
9051 Sint-Denijs-Westrem, BE**

72 Inventor/es:

**DEWAELE, FRANK;  
MABILDE, CYRIEL;  
BLANCKAERT, BART;  
KALMAR, ALAIN y  
MAENE, LIEVEN**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 678 070 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

Mecanismo de dirección de transmisión de par para una herramienta direccionable

5 **Antecedentes de la invención**

Desde la década de 1980, la cirugía abierta se ha reemplazado en gran medida por un procedimiento endoscópico, mediante el que se insertan instrumentos de eje largo a través de trócares en un abdomen con gas extendido. Tal cirugía laparoscópica, conocida por sus beneficios confirmados de tiempos de hospitalización más cortos, menos dolor postoperatorio y recuperación más temprana, resulta más exigente para el cirujano.

Una desventaja de la cirugía endoscópica es la destreza reducida. Esto se debe principalmente al efecto fulcro y la ausencia de movimientos similares al de la muñeca en la punta del instrumento. El conocimiento de esta desventaja aumenta a medida que se realizan procedimientos endoscópicos y cirugías de puerto único más complejos, caracterizados por la "lucha de espadas" de los instrumentos.

El efecto de fulcro implica el pivotamiento de los instrumentos de eje largo al nivel del trócar (punto de pivote) insertado en el abdomen. Un movimiento del mango hacia la izquierda se traduce como un movimiento hacia la derecha en el efector (por ejemplo, un par de tijeras) y *viceversa*. Los cirujanos son capaces de adaptarse rápidamente a estos movimientos invertidos.

La falta de movimientos similares a los de la muñeca es más difícil de superar. El robot Da Vinci (Intuitive Surgical) proporciona una solución del estado de la técnica, en el que los movimientos de las manos de los cirujanos en la consola se convierten en movimientos fluidos en la punta de los instrumentos. Esta solución es cara, lo que conduce al desarrollo de instrumentos manuales más baratos con una punta articulada omnidireccional.

Gran parte del problema quirúrgico es atribuible a la destreza reducida. Un instrumento laparoscópico rígido convencional ofrece solo 4 grados de libertad (rotación, angulaciones hacia arriba/hacia abajo, angulaciones hacia la izquierda/derecha, angulaciones hacia dentro/fuera). Para superar esta restricción en los movimientos, se han desarrollado diversos diseños para instrumentos direccionables:

1. En su forma más simple, un instrumento articulado comprende un tubo flexible torsionado previamente, que se desenvaina de manera deslizante desde un tubo recto rígido. Esta punta solo puede torsionarse en una dirección (instrumento articulado unidireccional) y solo puede soportar una cantidad limitada de fuerza lateral.

2. Las alternativas más avanzadas son los instrumentos que permiten movimientos de torsión de la punta en un plano, *por ejemplo*, de izquierda a derecha y *viceversa*. Debido a la naturaleza de la construcción, se crea una punta en gran parte estable. Estos instrumentos bidireccionales necesitan dirigirse a un punto de interés mediante la torsión en una dirección y, después, mediante el giro de todo el instrumento alrededor de su propio eje. Esto carece de intuición.

3. Los verdaderos movimientos de muñeca son únicamente posibles con sistemas omnidireccionales. El instrumento articulado omnidireccional consiste principalmente en un extremo distal y proximal, una parte de torsión distal, una zona de eje que se extiende desde la parte de torsión distal y, opcionalmente, una parte de torsión proximal. El movimiento del extremo proximal se convierte en un movimiento en el extremo distal. Los ejemplos se describen en la patente estadounidense n.º 7.410.483 (FIG. 11) y la patente estadounidense n.º 8.105.350 (FIG. 15).

Similar a la cirugía robótica, los instrumentos articulados omnidireccionales proporcionan hasta 7 grados de libertad (la rotación axial y la flexión de la punta en dos planos se añaden a los 4 DOF de los instrumentos rígidos convencionales). Una combinación de movimientos hacia arriba/hacia abajo y hacia la izquierda/hacia la derecha en el lado proximal permite que se alcance cualquier punto en el lado de efector distal sin la necesidad de una rotación alrededor de su propio eje. Sin embargo, el aumento de la maniobrabilidad tiene el precio de una disminución significativa en la estabilidad de la punta. Para solucionar esto, las soluciones híbridas, tales como el sistema Kymerax® (Terumo) y el sistema Jaimy® (EndoControl), compensan mediante el uso de servomotores eléctricos potentes para restaurar la estabilidad de la punta.

Los instrumentos articulados omnidireccionales ofrecen, en comparación con los sistemas robóticos, las ventajas de costes bajos y respuesta táctil.

La empuñadura de un instrumento articulado quirúrgico debe ser estable, es *decir*, presentar una resistencia suficiente a la aplicación de fuerzas externas. Chang Wook Jeong (Chang et al. Insufficient Joint Forces of First Generation Articulating Instruments for Laparoendoscopic Single-Site Surgery, Surgical Innovation 2012) ha estudiado recientemente esto. Se calculó que la empuñadura de los instrumentos soporta idealmente una fuerza lateral mínima de 20 N para ser útil.

Esta estabilidad puede lograrse mediante el aumento del diámetro de los instrumentos, el aumento del número, la sección de los alambres de dirección, la reducción de la longitud de la empuñadura o mediante el uso de un material más rígido. Sin embargo, en los casos en los que el deseo de invasividad reducida requiere un diámetro minimizado, se necesitan compromisos con las tecnologías existentes.

5 En cirugía, la estabilidad de rotación es, quizás, el rasgo más importante, es decir, la capacidad de transmitir un movimiento rotatorio desde el eje por la empuñadura del instrumento hasta el efector de extremo. Por ejemplo, el movimiento de hacer una sutura en la posición de corte del revés requiere un instrumento que se torsione a más de aproximadamente 70° y permite también un movimiento rotatorio del porta-agujas para sacar tejidos con la aguja redonda.

15 Un instrumento quirúrgico se considera omnidireccional si se usa la orientación del eje como referencia, la parte de extremo distal torsionable puede moverse libremente dentro de un ángulo de cono total. Típicamente, se usa una junta de rótula y un receptáculo articular. Esta es una junta de 3 DOF que permite movimientos, tales como cabeceo (arriba-abajo), alabeo (izquierda-derecha) y guiñada (rotación). Con el fin de permitir que se transmita el movimiento rotatorio, el movimiento de rotación en la junta se limita idealmente, por ejemplo, usando un pasador y una ranura. Se proporciona una ranura arqueada en el receptáculo y se extiende en un plano que pasa, generalmente, a través del centro de la rótula y recibe un pasador que se conecta de manera pivotante al lado adyacente de la rótula. Otra manera es el uso de una rótula y un receptáculo facetados. Las facetas y los bordes bloquean la rotación axial, sin embargo, estos reducen la angulación de algunas orientaciones laterales.

25 Existen numerosas maneras en las que se puede ensamblar una concatenación de juntas mecánicas para imitar el comportamiento de una junta de rótula y un receptáculo articular. Por ejemplo, una junta de cardán es como una junta de rótula y un receptáculo articular, excepto que está limitada por un grado de libertad de rotación. Dos horquillas se unen entre sí mediante un travesaño, manteniendo el travesaño estos ejes a 90 grados, de manera que si el par se aplica al eje 1, el eje 2 rotará. Una junta de cardán es equivalente a una junta de 2 bisagras en la que los ejes de las 2 bisagras son perpendiculares entre sí y con una conexión perfectamente rígida en su lugar. En los instrumentos quirúrgicos articulados o los catéteres endovasculares articulados, una junta de cardán se logra a menudo mediante una concatenación de bisagras flexibles que se orientan a 90° entre sí.

30 El movimiento omnidireccional puede lograrse usando una cadena cinemática que es un conjunto de varillas dispuestas en tándem. Una varilla es un cuerpo rígido que posee puntos para su fijación a otras varillas. En psicología humana, las varillas se pueden ver como discos, vértebras o huesos. Una junta es una conexión entre varillas. Un par cinemático es una combinación de dos varillas con una junta en el medio. Una cadena cinemática es un conjunto de varillas y juntas. La empuñadura de los instrumentos es la cadena cinemática entre el eje y el efector de extremo.

40 Una observación interesante es que, aunque la libertad de rotación entre las dos varillas está limitada, una cadena cinemática que contiene tales varillas puede impulsarse en una configuración de manera que se roten la primera y la última varillas una respecto de la otra. Cuando todas las varillas y juntas permanecen en una línea, el movimiento rotatorio se transmite sin holgura y la primera y la última varilla mantienen la misma orientación. Sin embargo, cuando la cadena cinemática sigue una trayectoria en espiral, puede producirse una rotación significativa entre la primera y la última varilla. Los instrumentos omnidireccionales basados en una concatenación de juntas mecánicas (flexibles) también son propensos a este fenómeno. En el caso de los instrumentos quirúrgicos, esto da como resultado una rotación entre el eje y la parte distal torsionable de extremo. En cirugía, esta pérdida de transmisión de giro es altamente no deseable.

50 Una solución en la técnica para reducir el 'efecto de cadena cinemática en espiral' es reducir el número de varillas. El documento US 2012/0220831 describe una junta de empuñadura de múltiples discos con solo 5 varillas y 4 juntas. Se reivindica que la herramienta no tiene ninguna singularidad en el alabeo, cabeceo o la guiñada. Por tanto, los movimientos son suaves. Esto es cierto en las aplicaciones robóticas en las que todas las juntas pueden controlarse individualmente. Adicionalmente, se pueden realizar fácilmente las correcciones por medio de la cinemática inversa adecuada implementada en el controlador de ordenador. Con el uso de instrumentos controlados a mano, las juntas son difíciles de controlar, especialmente si las juntas individuales necesitan torsionarse a más de 45°. Estas llegan a tener 'muescas' y son difíciles de rotar cuando se operan en ángulos extremos.

60 El documento US 2010/160736 describe un dispositivo médico con un eje articulado con un par de conjuntos de listones. Mediante el movimiento de un articulador, los conjuntos de listones se configuran para traccionarse concurrentemente, mientras que el otro se presiona con el fin de torsionar el eje de articulación. Sin embargo, el dispositivo médico no prevé el movimiento omnidireccional, estando limitada la articulación del eje a un único plano.

El objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema de transmisión mecánica para un instrumento direccionable que supere uno o más de los problemas de la técnica anterior.

65 **Algunas realizaciones de la invención**

La presente invención se refiere, en una realización principal, según la reivindicación 1, a una herramienta direccionable (500) que tiene un extremo proximal (20) y un extremo distal (40) y comprende una zona de eje (532), una parte proximal torsionable, BPP (534), que se puede mover omnidireccionalmente, y una parte distal torsionable, BDP (530), que se puede mover omnidireccionalmente y se mueve en respuesta a un movimiento de la BPP (534), que comprende un sistema de transmisión mecánica MTS, MTS (100) que comprende una pluralidad de miembros longitudinales, LM (110), teniendo cada uno un extremo proximal (20) y un extremo distal (40), dispuestos en una dirección longitudinal alrededor de un tubo ficticio (120), y tiene una correspondiente zona de eje de transmisión, TSR (132), una parte proximal torsionable de transmisión, TBPP (134), y una parte distal torsionable de transmisión, TBDP (130), en la que una sección de plano (114) de al menos un LM (110) demuestra un momento de inercia de área anisotrópica y la mayoría de los LMs (110) están limitados, cada uno, axialmente en rotación en puntos de limitación en los que los LM son deslizables longitudinalmente con respecto a cada punto de limitación aislado y el MTS (100) se configura de tal manera que la punta de la BDP (530) se puede rotar axialmente en una posición torsionada mediante una rotación complementaria de la BPP (534) en la que

- el MTS (100) se proporciona además con guías de LM (300, 305, 350, 305a) configuradas cada una para limitar axialmente en rotación dicha mayoría de los LMs (110) en los puntos de limitación, estando al menos 2 guías de LM (300, 305) en la TBDP (130) y estando al menos 2 guías de LM (300, 305a) en la TBPP (134),
- cada guía de LM (300, 305, 305a, 350) comprende un cuerpo provisto de una pluralidad de canales (310) aislados dispuestos alrededor del tubo ficticio (320, 120) configurado para limitar axialmente en rotación dicha mayoría de los LMs (110) en los puntos de limitación y para mantener los LM (110) en una posición circunferencial esencialmente constante sobre el tubo ficticio (120) en el punto de limitación, y
- las guías de LM (300) en la TBDP (130) y la TBPP (134) son guías de LM articuladas (305, 305', 305", 305a, 305a', 305a") dispuestas en tándem respectivamente y articuladas entre sí de tal manera que se sigue el movimiento pivotante en dos grados de libertad con respecto a una guía de LM articulada adyacente, soportando de este modo la torsión de los LM (110) en la TBDP (530) y en la TBPP (534) respectivamente.

La mayoría de los LMs (110) pueden limitarse, cada uno, axialmente en rotación en 1 o más puntos de limitación a lo largo de la TBDP (130) o a lo largo de la TSR (132).

En el presente documento, se describe un sistema de transmisión mecánica, MTS (100), para una herramienta direccionable (500), herramienta direccionable (500) que tiene un extremo proximal (20) y un extremo distal (40) y comprende una zona de eje (532), una parte proximal torsionable, BPP (534), que se puede mover omnidireccionalmente, y una parte distal torsionable, BDP, (530), que se puede mover omnidireccionalmente y se mueve en respuesta a un movimiento de la BPP (534), MTS (100) que comprende una pluralidad de miembros longitudinales, teniendo cada LM (110) un extremo proximal (20) y un extremo distal (40), dispuestos en una dirección longitudinal alrededor de un tubo ficticio (120), y tiene una correspondiente zona de eje de transmisión, TSR (132), una parte proximal torsionable de transmisión, TBPP (134), y una parte distal torsionable de transmisión, TBDP (130), en la que una sección de plano (114) de al menos un LM (110) demuestra un momento de inercia de área anisotrópico y la mayoría de los LMs (110) están limitados, cada uno, axialmente en rotación en 1 o más puntos de limitación a lo largo de la TBDP (130) o a lo largo de la TSR (132), en los que los LM son deslizables longitudinalmente con respecto a cada punto de limitación aislado y el MTS (100) se configura de tal manera que la punta de la BDP (530) se puede rotar axialmente en una posición torsionada mediante una rotación complementaria de la BPP (534).

Al menos un punto de limitación dispuesto a lo largo de la TSR (132) puede proporcionarse en la mitad distal de la TSR (132), preferentemente en el 10 % de la longitud total de la TSR (132) ubicada en el extremo distal de la TSR (132), y al menos otro punto de limitación dispuesto a lo largo de la TSR (132) puede proporcionarse en la mitad proximal de la TSR (132), preferentemente en el 10 % de la longitud total de la TSR (132) ubicada en el extremo proximal de la TSR (132). Dicha mayoría de los LMs (110) pueden limitarse, cada uno, axialmente en rotación en 1 o más puntos de limitación a lo largo de la TBPP (134). El MTS (100) se proporciona además con guías de LM (300, 305, 350) configuradas cada una para limitar axialmente en rotación dicha mayoría de los LMs (110) en los puntos de limitación. Cada guía de LM puede configurarse además para mantener dicha mayoría de los LM (110) en una posición circunferencial esencialmente constante sobre el tubo ficticio (120) en los puntos de limitación. El MTS (100) puede proporcionarse con al menos 2 guías de LM (300, 305, 350) en la TBDP (130) y al menos 2 guías de LM en la TBPP (134). La guía de LM (300, 305, 350) puede comprender un cuerpo provisto de una pluralidad de canales (310) aislados dispuestos alrededor del tubo ficticio (320, 120) configurado para limitar axialmente en rotación dicha mayoría de los LMs (110) en los puntos de limitación y para mantener los LM (110) en una posición circunferencial esencialmente constante sobre el tubo ficticio (120) en el punto de limitación. Un canal (310) que puede configurarse para limitar axialmente en rotación un LM (110) en la TBDP o la TBPP contiene un perfil en sección transversal que complementa la sección de plano (114) del LM. Las guías de LM (300) en la TBDP (130) y en la TBPP (134) pueden ser guías de LM articuladas (305, 305', 305") dispuestas en tándem respectivamente y articuladas entre sí, soportando de este modo la torsión de los LM (110) en la BDP (130) y en la BPP (134) respectivamente. Las guías de LM articuladas (305, 305', 305") pueden estar en contacto entre sí por pares a través de una junta de pivote que comprende una junta de rótula y un receptáculo articulario. La guiñada entre las guías de LM articuladas adyacentes puede estar limitada para proporcionar una alineación rotatoria entre sí esencialmente fija de los puntos de limitación a lo largo del tubo ficticio. Las guías de LM (300) en la TSR (132) pueden ser guías de LM fijas (350,

350', 350") y pueden fijarse en rotación una con respecto a la otra para reducir la flexibilidad de la TSR (132) en comparación con la flexibilidad de la TBP (130) o la TBPP (134). La sección de plano del LM puede ser un perfil de segmento rectangular, en letra de "i" o circular, opcionalmente, en el que una o más de las esquinas de perfil son puntiagudas o redondeadas. La BDP (530) y la BPP (534) pueden curvarse al menos parcialmente.

5 Otro ejemplo desvelado se refiere a un sistema de transmisión mecánica, MTS (100), para una herramienta direccionable (500), herramienta direccionable (500) que tiene un extremo proximal (20) y un extremo distal (40) y comprende una parte distal torsionable, BDP, (530) que se mueve omnidireccionalmente, en respuesta al accionamiento del MTS (100) en el extremo proximal (20), MTS (100) que comprende una pluralidad de miembros longitudinales, teniendo cada LM (110) un extremo proximal (20) y un extremo distal (40), dispuestos en una dirección longitudinal alrededor de un tubo ficticio (120), y tiene una correspondiente parte distal torsionable de transmisión, TBP (130), en el que una sección de plano de al menos uno, opcionalmente, todos y cada uno de los LM (110), demuestra un momento de inercia de área anisotrópico, y la mayoría, preferentemente todos, de la pluralidad de LM (110) se limitan, cada uno, axialmente en rotación en la parte distal torsionable de transmisión (130).

15 La anisotropía puede ser con respecto a los ejes (116, 118) perpendiculares entre sí que se intersecan en un centroide de la sección de plano (114) del LM (110), y en la que el eje (116), alrededor del que el LM (110) tiene el momento de inercia de área más alto, se orienta en una dirección hacia un eje (A-A') central del tubo ficticio (120). El eje (116) puede intersecar el eje (A-A') central del tubo ficticio (120) o desviarse del eje (A-A') central del tubo ficticio (120) adoptando un ángulo (alfa) de hasta 60 grados en comparación con una línea imaginaria (115) trazada entre el eje (A-A') central y el centroide (111) de la sección de plano. La sección de plano (114) puede estar presente en la parte distal torsionable de transmisión (130). El número de LM (110) puede ser de al menos tres o cuatro. La sección de plano (114) del LM puede tener un perfil de segmento rectangular, de letra "i" o circular, opcionalmente, en el que una o más de las esquinas de perfil son puntiagudas o redondeadas.

20 El MTS (100) puede estar provisto además de una o más guías de LM (300, 350) configuradas para mantener los LM (110) en una posición circunferencial esencialmente constante sobre el tubo ficticio (120) y para limitar axialmente en rotación dicha mayoría de los LMs (110) en la TBP (130). La guía de LM (300, 305, 350) puede comprender un cuerpo provisto de una pluralidad de canales (310) aislados dispuestos alrededor del tubo ficticio (320, 120) configurado para mantener los LM (110) en la posición circunferencial esencialmente constante sobre el tubo ficticio (120) y para limitar axialmente en rotación dicha mayoría de los LMs (110) en la TBP (310). Un canal (310) configurado para limitar axialmente en rotación un LM (110) en la TBP puede contener un perfil en sección transversal que complementa la sección de plano (114) del LM. Algunas de las guías de LM (300) pueden ser guías de LM articuladas (305, 305', 305") dispuestas en tándem en la TBP (130), y pueden articularse entre sí, soportando de este modo la torsión de los LM (110) en la BDP (130). Las guías de LM articuladas (305, 305', 305") pueden estar en contacto entre sí por pares a través de una junta de pivote. Algunas de las guías de LM (300) pueden ser guías de LM fijas (350, 350', 350") que se disponen en una zona de eje de transmisión, TSR (132), adyacente a la TBP (130), y se fijan en rotación una con respecto a la otra. El MTS (100) puede comprender además una parte proximal torsionable de transmisión, TBPP (134), para el accionamiento omnidireccional por parte del usuario, que induce la respuesta de movimiento omnidireccional de la TBP (130).

30 Otro ejemplo desvelado se refiere a una herramienta direccionable (500) que comprende un MTS (100), tal como se define en el presente documento. La BDP (530) puede configurarse para el movimiento en al menos dos planos de intersección diferentes en respuesta al accionamiento del MTS (100) en el extremo proximal (20), en la que la herramienta direccionable (500) está provista además de un efector de extremo (540) en el extremo distal de la BDP (530), y el MTS (100) se configura de tal manera que el efector de extremo (540) se fija en rotación en relación con la BDP (530), y el efector de extremo se puede rotar cuando la BDP (530) está en una posición torsionada mediante una rotación complementaria de la parte de torsión proximal (202). El efector de extremo puede fijarse en rotación en relación con la BDP por medio de un elemento bloqueable configurado para permitir el ajuste rotatorio de y para fijar en rotación el efector de extremo (540) en relación rotatoria con la BDP (530).

## 50 Breve descripción de las figuras

La FIG. 1 representa una vista isométrica de un sistema de transmisión mecánica (MTS) de la invención en aislamiento en una configuración lineal.

55 La FIG. 2 representa el MTS de la FIG. 1, en el que la parte distal torsionable de transmisión (TBP) se torsiona y la zona de eje de transmisión (TSR) permanece en la misma configuración recta.

60 La FIG. 3 representa dos ejes de intersección sobre una sección de plano que es una sección transversal plana del miembro longitudinal (LM) en la posición 112 en la FIG. 1, sección transversal que tiene un perfil en forma de "i".

La FIG. 4 representa una vista exterior de un MTS de la invención dispuesto con una pluralidad de guías de LM fijas y una pluralidad de guías de LM articuladas.

65 La FIG. 5 representa el MTS de la FIG. 4, en el que la TBPP se ha accionado mediante torsión, transmitiéndose el movimiento a la TBP.

- La **FIG. 6** representa una sección transversal semicircular (*es decir*, la sección de plano) de un LM.
- La **FIG. 7** representa una sección transversal rectangular(*es decir*, la sección de plano) de un LM.
- 5 La **FIG. 8** representa una sección transversal en forma de "I" (*es decir*, la sección de plano) de un LM.
- La **FIG. 9** representa una sección transversal rectangular de bordes redondeados (*es decir*, la sección de plano) de un LM.
- 10 La **FIG. 10** representa una sección transversal en forma de pista (*es decir*, la sección de plano) de un LM.
- La **FIG. 11** representa una vista de lado de un medio de transmisión mecánica, no de la invención, en el que los miembros longitudinales tienen, cada uno, una sección de plano circular.
- 15 La **FIG. 12** representa una vista de lado de un MTS de la invención, en la que los LM, cada uno, tienen secciones de plano en forma de "I".
- La **FIG. 13** es una vista isométrica de un medio de transmisión mecánica no de la invención, en el que los miembros longitudinales tienen, cada uno, una sección de plano circular, que demuestra el giro no deseable de los miembros longitudinales.
- 20 La **FIG. 14** es una vista isométrica de un MTS de la **FIG. 11** y de la invención, en el que los LM tienen, cada uno, una sección de plano en forma de "I" que demuestra un giro significativamente menor de los LM en la TBDP.
- 25 La **FIG. 15** es una vista de lado de un MTS de la **FIG. 14** y de la invención, que muestra un LM único aislado.
- La **FIG. 16** es una vista de lado de un MTS que muestra los radios de torsión de los LM dispuestos en la TBDP del MTS.
- 30 La **FIG. 17** es una vista en planta de una guía de LM que tiene forma de disco.
- La **FIG. 18** es una vista de lado de una guía de LM que es una guía de LM articulada.
- La **FIG. 19** muestra una vista isométrica de una herramienta direccionable que incorpora un MTS de la invención.
- 35 La **FIG. 20** es una vista isométrica de un MTS **100** de la invención provisto de 4 LM mantenidos en posición radial con una pluralidad de guías de LM fijas y articuladas.
- La **FIG. 21A** muestra una parte distal torsionable de un medio de transmisión mecánica, no de la invención, dispuesto con miembros longitudinales con perfil circular.
- 40 La **FIG. 21B** muestra la parte distal torsionable de un medio de transmisión mecánica de la **FIG. 21A** y no de la invención, en el estado de cadena cinemática en espiral no deseable y estable.
- 45 La **FIG. 22** muestra dos orientaciones ejemplares de un canal de guía de LM y del LM presente en el mismo.
- Las **FIGS. 22A y B** muestran dos orientaciones ejemplares de un LM presente en un canal de guía de LM.
- 50 La **FIG. 23** ilustra puntos de limitación aislados en una alineación rotatoria entre sí esencialmente fija a lo largo del tubo ficticio.

#### Descripción detallada de la invención

- 55 Antes de describir el presente dispositivo de la invención, debe entenderse que la presente invención no está limitada a los dispositivos particulares descritos, ya que tales dispositivos pueden, naturalmente, variar. También debe entenderse que la terminología usada en el presente documento no pretende ser limitante, puesto que el alcance de la presente invención estará limitado únicamente por las reivindicaciones adjuntas.
- Tal como se usa en el presente documento, las formas del singular "un", "una" y "el" y "la" incluyen referencias tanto en singular como en plural, salvo que el contexto lo defina claramente de otra forma.
- 60 Los términos "que comprende/n", "comprende" y "comprendido/s de", tal como se usan en el presente documento, son sinónimos de "que incluye/n", "incluye" o "que contiene/n", "contiene" y son inclusivos o indeterminados y no excluyen miembros, elementos o etapas de método adicionales y no mencionados. Los términos "que comprende/n", "comprende" y "comprendido/s de" también incluyen la expresión "que consiste/n en". La citación de intervalos numéricos con extremos incluye todos los números y las fracciones englobados dentro de los respectivos intervalos, así como los extremos citados.
- 65

El término "aproximadamente", tal como se usa en el presente documento, cuando se refiere a un valor medible, tal como un parámetro, una cantidad, una duración temporal y similares, se entiende que abarca variaciones de +/-10 % o menos, preferentemente +/-5 % o menos, más preferentemente +/-1 % o menos, y todavía más preferentemente +/-0,1 % o menos de y a partir del valor especificado, en la medida en que tales variaciones sean adecuadas para realizarse en la invención desvelada. Debe entenderse que el valor al que se refiere el modificador "aproximadamente" también se desvela específica y preferentemente por sí mismo.

Salvo que se defina de otra manera, todos los términos usados en la divulgación de la invención, incluyendo los términos técnicos y científicos, tienen el significado que entiende comúnmente un experto habitual en la materia al que pertenece la presente invención. A modo de guía adicional, se incluyen las definiciones de los términos usados en la descripción para apreciar mejor la enseñanza de la presente invención. La referencia a lo largo de la presente memoria descriptiva a "una realización" o "la realización" significa que un rasgo, estructura o característica particular descrita en relación con la realización se incluye en al menos una realización de la presente invención. Por tanto, la presencia de las expresiones "en una realización" o "en la realización" en diversos lugares a lo largo de la presente memoria descriptiva no se refieren necesariamente a la misma realización, pero pueden. Además, los rasgos, estructuras o características particulares pueden combinarse de cualquier manera adecuada, tal como resultaría evidente para un experto en la materia a partir de la presente divulgación, en una o más realizaciones. Además, aunque algunas realizaciones descritas en el presente documento incluyen algunos, pero no otros rasgos incluidos en otras realizaciones, se entiende que las combinaciones de rasgos de diferentes realizaciones se encuentran dentro del alcance de la invención y forman diferentes realizaciones, tal como entenderán aquellos expertos en la materia. Por ejemplo, en las siguientes reivindicaciones, puede usarse cualquiera de las realizaciones reivindicadas en cualquier combinación.

Los términos "distal" y "proximal" se usan a través de la memoria descriptiva y son términos generalmente entendidos en el campo que significan hacia (proximal) o lejos (distal) del lado del cirujano del aparato. Por tanto, "proximal" significa hacia el lado del cirujano y, por lo tanto, lejos del lado del paciente. Por el contrario, "distal" significa hacia el lado del paciente y, por lo tanto, lejos del lado del cirujano.

La presente invención se refiere a una herramienta direccionable que comprende un sistema de transmisión mecánica (MTS). La herramienta direccionable es preferentemente longitudinal, lo que significa que es más larga en una dirección. Esto no necesariamente implica que la herramienta direccionable sea lineal, aunque una herramienta direccionable (recta) lineal se encuentra dentro del alcance de la invención. La herramienta direccionable puede ser recta o curva, por ejemplo, teniendo una zona de eje en forma de C o S.

Típicamente, una herramienta direccionable tiene un extremo proximal y un extremo distal y comprende una parte distal torsionable (BDP), algunas veces conocida como empuñadura, que se mueve en respuesta al accionamiento del MTS en el extremo proximal. El accionamiento del MTS en el extremo proximal induce una respuesta de movimiento en la BDP. La herramienta direccionable también está provista de una zona de eje (SR), que puede ser esencialmente rígida o semirrígida, un extremo de la cual se dispone con la BDP. La zona de eje es longitudinal, lo que significa que es más larga en una dirección. Esto no necesariamente implica que la zona de eje sea lineal, aunque un eje (recto) lineal se encuentra dentro del alcance de la invención. La zona de eje puede ser recta o curva, por ejemplo, teniendo una forma de C o S. Para controlar la BDP, se usan alambres de dirección, que se conocen como miembros longitudinales (LM), en el MTS. Estos controlan la BDP mediante tracción o presión. El MTS comprende una pluralidad de miembros longitudinales (LM) que tienen, cada uno, un extremo proximal y un extremo distal, dispuestos en una dirección longitudinal alrededor de un tubo ficticio. Al menos uno de los LM contiene una zona, en la que una sección de plano de la misma tiene un segundo momento de inercia anisotrópico con respecto a los dos ejes de intersección. La punta (extremo terminal distal) de la BDP debería ser capaz de moverse con la misma facilidad en cualquier dirección, es decir, no existe singularidad. La respuesta de movimiento es proporcional al grado de accionamiento.

La zona de eje (SR) preferentemente es esencialmente rígida o semirrígida o puede ser flexible y volverse rígida o semirrígida cuando se opera en conjunto con un exotubo o tubo exterior rígido o semirrígido. La zona de eje es adyacente a la BDP. La zona de eje puede estar en contacto con la BDP. La herramienta direccionable está provista además de una parte proximal torsionable (BPP) en el extremo proximal de la herramienta direccionable. La BPP es adyacente a la zona de eje, es decir, la zona de eje se dispone entre la BDP y la BPP. La zona de eje puede estar en contacto con la BPP. El movimiento de la BPP acciona el MTS en el extremo proximal e induce una respuesta de movimiento en la BDP. El movimiento de la BPP en diferentes direcciones radiales y a diferentes grados de torsión se transmite usando el MTS a la BDP y da como resultado un cambio correspondiente en la dirección radial y/o el grado de torsión de la BDP. La herramienta direccionable puede accionarse en el extremo proximal usando un dispositivo electromecánico conectado directamente al MTS, por ejemplo, a dos o más de los LM, o todos y cada uno de los LM. Típicamente, se accionarían los LM en la zona de eje. En tal caso, la herramienta puede estar desprovista de una BPP. Como alternativa, el control robótico puede realizarse mediante el uso de un dispositivo electromecánico para accionar la BPP. El dispositivo electromecánico puede ser, por ejemplo, un servomotor. El acoplamiento a un dispositivo electromecánico facilitaría la integración directa en un robot quirúrgico.

La respuesta de movimiento de la BDP puede ser:

- un cambio en el grado de torsión dentro de un plano paralelo a y en contacto con un eje longitudinal central de y que se extiende desde la zona de eje,

- un cambio de dirección de la torsión dentro de un plano perpendicular a y en contacto con un eje longitudinal central de y que se extiende desde la zona de eje.

La combinación de los movimientos que permite la herramienta direccionable facilitaría normalmente una rotación de la zona de eje que podría transmitirse a la BDP en su punta, mientras la BDP está en una posición torsionada. Sin embargo, los inventores han hallado que la punta de la BDP no rota de manera sincronizada con la zona de eje. Existe una "zona muerta", un espacio de contragolpe o una holgura en los que el par aplicado en el extremo proximal y transmitido a través de la zona de eje no da como resultado una rotación de la punta de la BDP, particularmente cuando esta está en una posición torsionada.

La herramienta direccionable puede ser un instrumento quirúrgico, tal como, por ejemplo, un instrumento laparoscópico o un catéter endovascular. La invención puede usarse en un instrumento articulado, tal como, pero sin limitarse a, aplicaciones endovasculares, instrumentos quirúrgicos, robótica médica teleoperada robotizada o herramientas quirúrgicas de mano y aplicaciones industriales.

La BDP se configura para moverse omnidireccionalmente, *es decir*, en cualquier dirección radial. La BDP se configura para moverse en cualquier dirección radial (aproximadamente 360° con respecto al eje longitudinal central (**A'-A**) de la zona de eje). La BDP se configura preferentemente para moverse en al menos dos planos diferentes (*por ejemplo*, 3, 4, 5, 6, 7, 8 o más) dispuestos paralelos a y en contacto con un eje longitudinal central (**A'-A**) de la zona de eje. Preferentemente, la BDP se configura para moverse en un número infinito de planos diferentes dispuestos paralelos a y en contacto con un eje longitudinal central (**A'-A**) de la zona de eje. La torsión de la BDP es típicamente, al menos parcialmente, una curva, *es decir*, la BDP se puede curvar. Por curva se entiende que existe una torsión suave en lugar de una torsión angular, tal como se entiende comúnmente en la técnica. Una curva contiene típicamente, para al menos una parte de su longitud, un gradiente en continuo cambio (*por ejemplo*, aumento o disminución), en comparación con una torsión angular que presenta típicamente un gradiente constante o un cambio aislado y singular del gradiente, *por ejemplo*, en una junta de bisagra. Se aprecia que la BDP puede sesgarse en una configuración recta y el accionamiento induce una curvatura en la misma. Como alternativa, la BDP puede sesgarse en una curva y el accionamiento induce una curvatura adicional o menor en la misma. De manera similar, la BPP, en los casos en los que esté presente, se configura para moverse omnidireccionalmente, *es decir*, en cualquier dirección radial. La BPP se configura preferentemente para moverse en cualquier dirección radial (aproximadamente 360° con respecto al eje longitudinal central (**A'-A**) de la zona de eje). El MTS se configura preferentemente para mover la BPP en al menos 8 direcciones diferentes. La BPP se configura preferentemente para moverse en al menos dos planos diferentes (*por ejemplo*, 3, 4, 5, 6, 7, 8 o más) dispuestos paralelos a y en contacto con un eje longitudinal central (**A'-A**) de la zona de eje. Preferentemente, la BPP se configura para moverse en un número infinito de planos diferentes dispuestos paralelos a y en contacto con un eje longitudinal central de la zona de eje. La torsión de la BPP es típicamente, al menos parcialmente, una curva, *es decir*, la BPP se puede curvar. Por curva se entiende que existe una torsión suave en lugar de una torsión angular, tal como se entiende comúnmente en la técnica. Una curva contiene típicamente, para al menos una parte de su longitud, un gradiente en continuo cambio (*por ejemplo*, aumento o disminución), en comparación con una torsión angular que presenta típicamente un gradiente constante o un cambio aislado y singular del gradiente, *por ejemplo*, en una junta de bisagra. Se aprecia que la BPP puede sesgarse en una configuración recta y el accionamiento induce una curvatura en la misma. Como alternativa, la BPP puede sesgarse en una curva y el accionamiento induce una curvatura adicional o menor en la misma.

La herramienta direccionable puede estar provista de un efector de extremo, tal como un agarre, pinzas, tijeras de corte y similares. El efector de extremo se proporciona en el extremo distal de la herramienta direccionable.

Además, resulta posible rotar la punta distal del instrumento sobre su propio eje, *es decir*, axialmente, incluso en un estado torsionado. Por consiguiente, el MTS se configura de tal manera que la punta de la BDP (o TBDP) se puede rotar axialmente en una posición torsionada mediante una rotación complementaria de la BPP (o TBPP). La herramienta direccionable puede estar provista de un efector de extremo en el extremo distal de la BDP, en la que el MTS se configura de tal manera que el efector de extremo se fija en rotación en relación con la BDP y el efector de extremo se puede rotar cuando la BDP está en una posición torsionada, mediante una rotación complementaria de la BPP. El efector de extremo puede fijarse en rotación en relación con la BDP por medio de un elemento bloqueable configurado para permitir el ajuste rotatorio de y para fijar en rotación el efector de extremo en relación rotatoria con la BDP. El MTS, tal como se describe en el presente documento, tiene un extremo proximal y un extremo distal. El extremo distal está provisto de una parte distal torsionable de transmisión (TBDP) que se mueve en respuesta al accionamiento del MTS en el extremo proximal y que mueve la BDP de la herramienta direccionable.

La TBDP está en consonancia en una posición con la BDP. El extremo proximal está provisto de una parte proximal torsionable de transmisión (TBPP). Los movimientos por el usuario de la BPP de la herramienta direccionable se transfieren a la TBPP. La TBDP está en consonancia en una posición con la BPP. La TBPP acciona el MTS en el extremo proximal e induce la respuesta de movimiento de la TBDP que se transfiere a la BDP de la herramienta direccionable.

El MTS también está provisto de una zona de eje de transmisión (TSR) que se dispone dentro de la correspondiente zona de eje de la herramienta direccionable. La TSR preferentemente es esencialmente rígida o semirrígida o puede volverse rígida o semirrígida cuando se opera en conjunto con un exotubo o tubo exterior rígido o semirrígido.

El MTS puede accionarse en el extremo proximal usando un dispositivo electromecánico conectado directamente al MTS, por ejemplo, a dos o más de los LM, o todos y cada uno de los LM. Típicamente, se accionarían los LM en la zona de eje de los LM. En tal caso, la herramienta puede estar desprovista de una TBPP. Como alternativa, el control robótico puede realizarse mediante el uso de un dispositivo electromecánico para accionar la BPP. El dispositivo electromecánico puede ser, por ejemplo, un servomotor. Esto facilitaría la integración directa en un robot quirúrgico.

El MTS se configura preferentemente para mover la BDP omnidireccionalmente. El MTS se configura preferentemente para mover la BDP en cualquier dirección (aproximadamente 360° con respecto al eje longitudinal central (**A'-A**) de la TSR). El MTS se configura preferentemente para mover la BDP en al menos 8 direcciones diferentes. El MTS se configura preferentemente para mover la BDP en al menos dos planos diferentes (*por ejemplo*, 3, 4, 5, 6, 7, 8 o más) dispuestos paralelos a y en contacto con un eje longitudinal central (**A'-A**) de la TSR. Preferentemente, el MTS se configura para mover la BDP en un número infinito de planos diferentes dispuestos paralelos a y en contacto con un eje longitudinal central (**A'-A**) de la zona de eje de transmisión.

La TDBP se configura para moverse omnidireccionalmente, *es decir*, en cualquier dirección radial. La TDBP se configura preferentemente para moverse en cualquier dirección radial (aproximadamente 360° con respecto al eje longitudinal central (A'-A) de la zona de eje). La TDBP se configura preferentemente para moverse en al menos dos planos diferentes (por ejemplo, 3, 4, 5, 6, 7, 8 o más) dispuestos paralelos a y en contacto con un eje longitudinal central (A'-A) de la zona de eje. Preferentemente, la TDBP se configura para moverse en un número infinito de planos diferentes dispuestos paralelos a y en contacto con un eje longitudinal central (A'-A) de la zona de eje. La torsión de la TDBP es típicamente, al menos parcialmente, una curva, es decir, la TDBP se puede curvar. Por curva se entiende que existe una torsión suave en lugar de una torsión angular, tal como se entiende comúnmente en la técnica. Una curva contiene típicamente, para al menos una parte de su longitud, un gradiente en continuo cambio (por ejemplo, aumento o disminución), en comparación con una torsión angular que presenta típicamente un gradiente constante o un cambio aislado y singular del gradiente, por ejemplo, en una junta de bisagra. Se aprecia que la TDBP puede sesgarse en una configuración recta y el accionamiento induce una curvatura en la misma. Como alternativa, la TDBP puede sesgarse en una curva y el accionamiento induce una curvatura adicional o menor en la misma.

La TBPP se configura para moverse omnidireccionalmente, *es decir*, en cualquier dirección radial. La TBPP se configura preferentemente para moverse en cualquier dirección radial (aproximadamente 360° con respecto al eje longitudinal central (A'-A) de la zona de eje). La TBPP se configura preferentemente para moverse en al menos dos planos diferentes (por ejemplo, 3, 4, 5, 6, 7, 8 o más) dispuestos paralelos a y en contacto con un eje longitudinal central (A'-A) de la zona de eje. Preferentemente, la TBPP se configura para moverse en un número infinito de planos diferentes dispuestos paralelos a y en contacto con un eje longitudinal central (A'-A) de la zona de eje. La torsión de la TBPP es típicamente, al menos parcialmente, una curva, es decir, la TBPP se puede curvar. Por curva se entiende que existe una torsión suave en lugar de una torsión angular, tal como se entiende comúnmente en la técnica. Una curva contiene típicamente, para al menos una parte de su longitud, un gradiente en continuo cambio (por ejemplo, aumento o disminución), en comparación con una torsión angular que presenta típicamente un gradiente constante o un cambio aislado y singular del gradiente, por ejemplo, en una junta de bisagra. Se aprecia que la TBPP puede sesgarse en una configuración recta y el accionamiento induce una curvatura en la misma. Como alternativa, la TBPP puede sesgarse en una curva y el accionamiento induce una curvatura adicional o menor en la misma.

Además, resulta posible rotar la punta distal del instrumento sobre su propio eje, incluso en un estado torsionado. El MTS puede estar provisto de un efector de extremo en el extremo distal de la TDBP, en la que el MTS se configura de tal manera que el efector de extremo se fija en rotación en relación con la TDBP y el efector de extremo se puede rotar cuando la TDBP está en una posición torsionada, mediante una rotación complementaria de la TBPP. El efector de extremo puede fijarse en rotación en relación con la TDBP por medio de un elemento bloqueable configurado para permitir el ajuste rotatorio de y para fijar en rotación el efector de extremo en relación rotatoria con la TDBP.

El MTS comprende una pluralidad de miembros longitudinales (LM) que tienen, cada uno, un extremo proximal y un extremo distal, dispuestos en una dirección longitudinal alrededor de un tubo ficticio. El tubo ficticio es una forma geométrica alrededor de la que se alinean los LM. Este es preferentemente longitudinal. Este tiene preferentemente una sección transversal circular, una sección transversal que es esencialmente perpendicular a un eje longitudinal. Un eje (A'-A) central del tubo ficticio es preferentemente coaxial con un eje central de la herramienta direccionable. El tubo ficticio es preferentemente cilíndrico. El tubo ficticio tiene un diámetro que es menor que el diámetro de la herramienta direccionable en la posición correspondiente.

El LM, tal como se describe en el presente documento, tiene un extremo proximal y un extremo distal. El extremo distal está provisto de una parte distal torsionable de LM (LMBDP) que se dispone en la TDBP del MTS. El LM está provisto de una zona de eje de LM (LMSR) que se dispone en la correspondiente TSR del MTS. La LMSR es proximal a y adyacente a la LMBDP. El extremo proximal puede estar provisto de una parte proximal torsionable de LM (LMBPP) que se dispone en la TBPP del MTS.

Los extremos distales de los LM se mantienen en relación fija entre sí en el MTS. Los extremos distales de los LM, más preferentemente los extremos terminales distales de los LM, pueden conectarse a un elemento de fijación de LM. Preferentemente, el elemento de fijación de LM distal mantiene los LM en sus respectivas posiciones circunferenciales, por ejemplo, este puede mantener los extremos terminales distales de los LM en un anillo anular.

El elemento de fijación de LM distal puede ser, por ejemplo, un disco o un anillo dispuesto en el extremo distal del MTS.

De manera similar, los extremos proximales de los LM, más preferentemente los extremos terminales proximales de los LM, pueden mantenerse en relación fija entre sí en el MTS. Los extremos proximales de los LM pueden conectarse a un elemento de fijación de LM. Preferentemente, el elemento de fijación de LM proximal mantiene los LM en sus respectivas posiciones circunferenciales, por ejemplo, este puede mantener los extremos terminales proximales de los LM en un anillo anular. El elemento de fijación de LM proximal puede ser un disco o un anillo dispuesto en el extremo proximal del MTS.

Los LM son deslizables entre sí, en la medida en que el movimiento esté limitado por dicho/s elemento/s de fijación de LM. La aplicación de fuerza (presión y/o torsión) en el extremo proximal del MTS se transmite a través de los LM a lo largo de la LMSR de la LMBDP que, a su vez, causa el movimiento de la TBPP, por ejemplo, mediante la tracción o presión del/de los elemento/s de fijación mencionados anteriormente. El número de LM en un MTS puede ser de al menos dos, por ejemplo, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 o 20, o más. Para el direccionamiento omnidireccional, se prefiere que estén presentes al menos 4, más preferentemente 6 u 8 LM.

Las dimensiones de un LM pueden depender del diámetro y la longitud de la herramienta direccionable final y del número de LM utilizados. Como guía general, un LM puede tener un espesor en una dirección de 40  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$ , 60  $\mu\text{m}$ , 80  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , 200  $\mu\text{m}$ , 200  $\mu\text{m}$ , 400  $\mu\text{m}$  o 500  $\mu\text{m}$ , o un valor en el intervalo entre dos cualquiera de los valores mencionados anteriormente. Un LM puede tener un ancho de 80  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , 120  $\mu\text{m}$ , 140  $\mu\text{m}$ , 160  $\mu\text{m}$ , 180  $\mu\text{m}$ , 200  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ , 400  $\mu\text{m}$ , 500  $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$ , 700  $\mu\text{m}$ , 800  $\mu\text{m}$ , 900  $\mu\text{m}$ , 1000  $\mu\text{m}$ , 1100  $\mu\text{m}$ , 1200  $\mu\text{m}$ , 1300  $\mu\text{m}$ , 1400  $\mu\text{m}$  o 1500  $\mu\text{m}$ , o un valor en el intervalo entre dos cualquiera de los valores mencionados anteriormente. El experto en la materia entendería la manera de seleccionar un espesor y un ancho adecuados según el diámetro del MTS. En cuanto a un MTS de 10 mm de diámetro, el espesor preferido es de 280  $\mu\text{m}$  a 320  $\mu\text{m}$ , preferentemente de aproximadamente 300  $\mu\text{m}$ , y el ancho preferido es de 480  $\mu\text{m}$  a 520  $\mu\text{m}$ , preferentemente un ancho de aproximadamente 500  $\mu\text{m}$  en la LMBDP, la LMSR y, opcionalmente, la LMBPP. La longitud del MTS dependerá de la longitud de la herramienta direccionable y su aplicación. Las dimensiones preferidas anteriores se aplican a MTS de 37-40 cm de longitud.

Los LM pueden elaborarse a partir de cualquier material adecuado que tenga las propiedades de compresión y de tensión adecuadas y pueden deducirse por parte del experto en la materia. Los ejemplos incluyen acero inoxidable o nitinol, beta titanio, acero para resortes o polímero.

El LM puede elaborarse a partir de una única hebra de un material, *por ejemplo*, una única tira de acero inoxidable. Como alternativa, este puede elaborarse a partir de múltiples hebras de material conectadas en tándem.

Los LM se disponen longitudinalmente alrededor del tubo ficticio. Los LM pueden distribuirse uniformemente alrededor del tubo ficticio, *por ejemplo*, la distancia entre los LM adyacentes puede ser esencialmente la misma. Los LM pueden distribuirse simétricamente alrededor del tubo ficticio, *por ejemplo*, puede existir un plano de simetría sobre una sección transversal longitudinal del tubo ficticio. Los LM pueden distribuirse uniformemente alrededor del tubo ficticio, *por ejemplo*, la distancia entre al menos dos pares de LM adyacentes puede ser diferente.

El LM preferentemente se dispone esencialmente a lo largo de la longitud del MTS y de la herramienta direccionable. Este abarca la TDBP y se extiende en la TSR, y la TBPP, en los casos en los casos en los que esté presente.

Los LM se disponen preferentemente de tal manera que sus ejes longitudinales son paralelos entre sí. Los LM se disponen preferentemente de tal manera que sus ejes longitudinales son paralelos a un eje longitudinal (**A-A'**) del tubo ficticio. Los LM se disponen preferentemente de tal manera que sus ejes longitudinales son paralelos a un eje longitudinal de la herramienta direccionable longitudinal.

Al menos una sección de plano del LM demuestra un momento de inercia de área anisotrópico. Una sección de plano es típicamente una sección transversal perpendicular al eje (z) central perpendicular de un LM (véase la **FIG. 3**). La anisotropía es con respecto a los ejes (x, y) perpendiculares entre sí que se intersecan en un centroide de la sección de plano y cuyo eje forma un plano que es paralelo a y se encuentra sobre la sección de plano. El centroide se entiende que es el centro geométrico de la sección de plano, más específicamente del perfil exterior de la sección de plano. Cuando la sección de plano tiene un perfil esencialmente rectangular, los ejes x e y se alinean paralelos a los bordes rectos del rectángulo, alineándose el eje x de tal manera que el momento de inercia de área con respecto al eje x es el más grande. Cuando la sección de plano tiene un perfil esencialmente irregular, el eje x se alinea de tal manera que el momento de inercia de área es el más grande con respecto al eje x. Preferentemente, la relación del momento de inercia de área ( $I_r$ ) con respecto a un eje x ( $I_x$ ) y un eje y ( $I_y$ ) ( $I_x/I_y$ ) que intersecan un centroide de una sección de plano del LM es mayor que 1 o es de aproximadamente 1,1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 6, 6,5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 o 20 o más, o un valor en el intervalo entre dos cualquiera de los valores mencionados anteriormente. Como guía general,  $I_r$  puede ser entre 1,1 y 4, preferentemente entre 2 y 3, para un instrumento quirúrgico invasivo que los inventores han hallado que proporciona una TDBP estable que es resistente al par, al tiempo que es susceptible a la torsión y también evita el estado de cadena cinemática en espiral no

deseable.

La al menos una sección de plano puede estar en la LMBDP. Preferentemente, la LMBDP demuestra la propiedad anisotrópica en múltiples secciones de plano, preferentemente en la mayoría de o sustancialmente todas las posiciones a lo largo de la longitud de la LMBDP. Preferentemente, la LMBPP demuestra la propiedad anisotrópica en múltiples secciones de plano, preferentemente en la mayoría de o sustancialmente todas las posiciones a lo largo de la longitud de la LMBPP. Preferentemente, la LMSR demuestra la propiedad anisotrópica en múltiples secciones de plano, preferentemente en la mayoría de o sustancialmente todas las posiciones a lo largo de la longitud de la LMSR. Según un aspecto, la LMBDP y del 1 al 10 % de la longitud de la TSR desde su extremo distal demuestran la propiedad anisotrópica en la mayoría de o sustancialmente todas las secciones de plano en las mismas. En los casos en los que la LMBPP está también presente, la LMBDP y del 1 al 10 % de la longitud de la TSR desde su extremo distal, la LMBPP y del 1 al 10 % de la longitud de la TSR desde su extremo proximal, demuestran la propiedad anisotrópica en la mayoría de o sustancialmente todas las secciones de plano en las mismas.

El LM se orienta preferentemente en el MTS o la herramienta direccionable de tal manera que el eje (típicamente el eje x) que tiene el momento de inercia de área superior se extiende hacia el eje (A-A') central del tubo ficticio del MTS o de la herramienta direccionable. Aunque tal eje se extiende hacia el eje (A-A') central, este puede o no intersectar el eje A-A' central. Este puede desviarse del eje central, por ejemplo, el eje x puede adoptar un ángulo (alfa) de 10 grados, 20 grados o 30 grados, hasta 60 grados, en comparación con una línea imaginaria trazada entre el eje (A-A') central del tubo ficticio del MTS y el centroide de la sección de plano (véase la FIG. 22). En otras palabras, el LM se orienta preferentemente de tal manera que el eje (típicamente el eje x) que tiene el momento de inercia de área inferior se sitúa en sentido opuesto al eje (A-A') central del tubo ficticio del MTS o de la herramienta direccionable.

Los perfiles ejemplares (forma exterior) de la sección transversal plana que demuestran el momento de inercia de área anisotrópico mencionado anteriormente incluyen segmentos rectangulares, de letra "I" y circular, *por ejemplo*, de semicírculo, cuarto de círculo, etc.). Una o más, preferentemente todas las esquinas de los perfiles, pueden ser puntiagudas (*por ejemplo*, de cuadrado) o redondeadas. En el caso de un LM rectangular, el radio de un borde puede ser de hasta el 10 %, 20 %, 30 %, 40 % o 50 % de longitud del lado más corto del rectángulo. Típicamente, este puede ser de 10 µm, 20 µm o 30 µm o más, por ejemplo, de entre 10 µm y 200 µm.

El momento de inercia de área también se conoce como el segundo momento de inercia, momento de inercia de área de plano, momento polar de área o momento de área segundo. En cuanto a un LM de material uniforme, la propiedad anisotrópica se determina esencialmente mediante la forma exterior de la sección de plano. Esta puede calcularse a partir de la geometría de la sección de plano usando técnicas bien conocidas en la técnica. Por ejemplo,  $I_x$  e  $I_y$  pueden calcularse usando las Ecs 1 y Ecs 2, en las que x e y son las coordenadas del elemento diferencial de dA y A es el área de la sección de plano, los ejes x e y se intersectan en un centroide de la sección de plano.

$$I_x = \int y^2 dA \quad [\text{Ec 1}]$$

$$I_y = \int x^2 dA \quad [\text{Ec 2}]$$

Un LM que tiene un momento de inercia de área isotrópico facilitaría el movimiento omnidireccional en la TDBP y la TBPP, puesto que el LM necesita ser capaz de torsionarse en todas las direcciones, no solo con respecto a los LM de accionamiento circunferencialmente opuestos (LM anterior y posterior) que aplican una fuerza de torsión y de presión que se torsiona en la TDBP, sino con respecto a aquellos LM dispuestos entre los LM de accionamiento, es decir, los LM laterales. Un LM que tiene un momento de inercia de área isotrópico reduciría la resistencia a la torsión de estos LM laterales y, por tanto, se prefiere en la técnica. Por el contrario a esto, los inventores han hallado que el MTS tolera los LM que tienen un momento de inercia de área anisotrópico y que requieren más fuerza para torsionar los LM laterales en la TDBP y la TBPP debido a que estos se torsionan sobre un radio más grande en comparación con los LM ubicados en el interior de la torsión (véase la FIG. 16).

Adicionalmente, los inventores han hallado que la rotación axial de la TSR se transmite sincrónicamente a la TDBP cuando se emplean los LM que tienen un momento de inercia de área anisotrópico. Este caso es menor cuando se usan LM que tienen un momento de inercia de área isotrópica, lo que puede dar como resultado un retardo de rotación, también conocido como espacio de contragolpe u holgura, antes de que los movimientos se transmitan a la punta de la TDBP. Por ejemplo, en los casos en los que un medio de transmisión mecánica contiene miembros longitudinales que tienen un perfil transversal circular, una rotación axial del efector de extremo con respecto al eje da como resultado una torsión de los miembros longitudinales individuales, que, a su vez, significa que un par aplicado a la herramienta direccionable en un extremo no se transmite al otro extremo, puesto que dicho par es absorbido por dichos miembros longitudinales de perfil circular (véase, por ejemplo, la FIG. 13). Se induce una contrafuerza de par que es linealmente inversa proporcional a la longitud de la torsión. En el caso de una herramienta direccionable con una parte torsionable distal de 20 mm y una zona de eje de 400 mm, una torsión de 45° de los miembros longitudinales de perfil circular se expandirá sobre una distancia de 420 mm, permitiendo un espacio de contragolpe u holgura significativos. El cirujano debe aplicar un par adicional antes de que se prolongue la holgura.

- En cuanto al mismo sistema de transmisión mecánica, pero en los casos en los que se usan LM anisotrópicos, existe una torsión reducida en los LM individuales, puesto que la anisotropía proporciona a cada LM una resistencia potenciada contra el giro. Este efecto se potencia cuando se combina con guías de LM, mencionadas más adelante, que limitan cada LM para evitar o reducir la rotación axial. Por tanto, se reduce la cantidad de espacio de contragolpe.
- En un aspecto preferido, la mayoría, preferentemente todos los LM en la pluralidad de LM se limitan, cada uno, axialmente en rotación en 1 o más puntos (o zonas) limitantes a lo largo del eje longitudinal del tubo ficticio del MTS.
- Preferentemente, existe al menos 1 punto de limitación presente a lo largo de la TBDP o a lo largo de la TSR. El al menos un punto de limitación dispuesto a lo largo de la TSR puede proporcionarse en la mitad distal de la TSR, preferentemente en el 25 % o el 10 % de la longitud de la TSR total ubicada en el extremo distal de la TSR, opcionalmente, en la punta distal de la TSR. El punto o los puntos limitante/s dispuestos a lo largo de la TSR pueden confinarse a la mitad distal de la TSR, preferentemente en el 25 % o el 10 % de la longitud de la TSR total ubicada en el extremo distal de la TSR, opcionalmente, en la punta distal de la TSR. Preferentemente, existen al menos 2 puntos de limitación, al menos 1 dispuesto a lo largo de la TSR y al menos 1, 2, 3 o 4 dispuestos a lo largo de la TBDP.
- Preferentemente, existe al menos 1 punto de limitación presente a lo largo de la TBPP o a lo largo de la TSR. El al menos 1 punto de limitación dispuesto a lo largo de la TSR puede proporcionarse en la mitad proximal de la TSR, preferentemente en el 25 % o el 10 % de la longitud de la TSR total ubicada en el extremo proximal de la TSR, opcionalmente, en la punta proximal de la TSR. El punto o los puntos limitante/s dispuestos a lo largo de la TSR pueden confinarse a la mitad proximal de la TSR, preferentemente en el 25 % o el 10 % de la longitud de la TSR total ubicada en el extremo proximal de la TSR, opcionalmente, en la punta proximal de la TSR. Preferentemente, existen al menos 2 puntos de limitación, al menos 1 dispuesto a lo largo de la TSR y al menos 1, 2, 3 o 4 dispuestos a lo largo de la TBPP.
- Pueden existir al menos 4 puntos de limitación, al menos 1 dispuesto a lo largo de la TBDP, al menos 1 dispuesto a lo largo de la TSR en la mitad distal de la TSR, preferentemente en el 25 % o el 10 % de la longitud de la TSR total ubicada en el extremo distal de la TSR, opcionalmente, en la punta distal de la TSR, al menos 1 dispuesto a lo largo de la TBPP y al menos 1 dispuesto a lo largo de la TSR en la mitad proximal de la TSR, preferentemente en el 25 % o el 10 % de la longitud de la TSR total ubicada en el extremo proximal de la TSR, opcionalmente, en la punta proximal de la TSR.
- En la TBDP o BDP (o la TBPP o BPP), los puntos de limitación están aislados. Por aislado se entiende que estos están separados espacialmente en la dirección del eje (**A-A'**) longitudinal central del tubo ficticio. Los puntos de limitación aislados se separan espacialmente en la dirección del eje (**A-A'**) longitudinal central del tubo ficticio en la TBDP o BDP o la TBPP (o BPP, en los casos en los que esté presente).
- En la TSR o SR, los puntos de limitación pueden o no estar aislados. Cuando no están aislados, estos pueden proporcionarse, por ejemplo, como un canal longitudinal continuo en la dirección del eje (**A-A'**) longitudinal central del tubo ficticio en la TSR o SR.
- Se aprecia que la limitación mencionada anteriormente es diferente de cualquier efecto de limitación proporcionado por el elemento de fijación de LM; el elemento de fijación de LM fija la posición de los LM y no permite que los LM se deslicen entre sí (*por ejemplo*, la **FIG. 12**, el elemento de fijación de LM distal **113**).
- En cuanto a la pluralidad de LM, este permite que los LM sean deslizables entre sí en cada uno de dichos puntos de limitación. Tal como se describe más adelante, a continuación, un punto de limitación puede ser proporcionado por una guía de LM, en particular, una guía de LM articulada en la TBDP o BDP (y en la TBDP o BDP, en los casos en los que esté presente) o una guía de LM fija en la SR o TSR.
- Un aspecto adicional es que los puntos de limitación pueden estar en una alineación rotatoria entre sí esencialmente fija; estos pueden estar en una alineación rotatoria axial esencialmente fija entre sí a lo largo del tubo ficticio. Por alineación rotatoria esencialmente fija entre sí o alineación rotatoria axial entre sí esencialmente fija se entiende que el ángulo de rotación del eje (**A-A'**) entre los puntos de limitación (límitrofes) adyacentes a lo largo del tubo ficticio es esencialmente fijo o limitado. En cuanto a una pluralidad de puntos de limitación dispuestos longitudinalmente a lo largo del tubo ficticio, el ángulo radial del LM con respecto al eje (**A-A'**) longitudinal central del tubo ficticio sigue siendo el mismo en cada punto de limitación en un estado accionado o sin accionar. Los puntos de limitación pueden estar en una alineación esencialmente fija cuando no se aplica ninguna carga de trabajo al MTS o a la herramienta direccionable.
- Según un aspecto de la invención, los puntos de limitación están en una alineación rotatoria entre sí esencialmente fija de tal manera que una línea radial que interseca un punto de limitación aislado en el extremo terminal distal de una TBDP muestra un ángulo de desviación, épsilon, de no más de 30 grados, preferentemente de 25 grados a lo largo del eje longitudinal del tubo ficticio en comparación con el de un punto de limitación en el extremo terminal

proximal de una TBP o en la TSR en el extremo distal (véase la **FIG. 23**, *por ejemplo*, **I-A** véase **I-E**). La línea radial se irradia desde y es perpendicular al eje (**A-A'**) longitudinal central del tubo ficticio. En cuanto a los puntos de limitación en cuestión (*por ejemplo*, un canal), el punto de intersección es el mismo para permitir una comparación.

- 5 Según un aspecto de la invención, los puntos de limitación están en una alineación rotatoria entre sí esencialmente fija de tal manera que una línea radial que interseca un punto de limitación aislado en el extremo terminal proximal de una TBP muestra un ángulo de desviación,  $\epsilon$ , de no más de 30 grados, preferentemente de 25 grados a lo largo del eje longitudinal del tubo ficticio en comparación con el de un punto de limitación en el extremo terminal distal de una TBP o en la TSR en el extremo proximal. La línea radial se irradia desde y es perpendicular al eje (**A-A'**) longitudinal central del tubo ficticio. En cuanto a los puntos de limitación en cuestión (*por ejemplo*, un canal), el punto de intersección es el mismo para permitir una comparación.

15 Según otro aspecto, una línea radial que interseca un punto de limitación aislado muestra un ángulo de desviación,  $\epsilon$ , de no más de 10 grados, preferentemente de 5 grados, en comparación con el de un punto de limitación aislado (límite más cercano) adyacente a lo largo del eje longitudinal del tubo ficticio (*por ejemplo*, las **FIG. 23. I-C** véase **I-D**). La línea radial se irradia desde y es perpendicular al eje (**A-A'**) longitudinal central del tubo ficticio. Entre los puntos de limitación aislados adyacentes (*por ejemplo*, un canal), el punto de intersección es el mismo para permitir una comparación. Además de los puntos de limitación aislados en la TBP o BDP (y en la TBPP o BPP, en los casos en los que esté presente) que se fijan esencialmente entre sí axialmente en rotación a lo largo del tubo ficticio, estos pueden fijarse esencialmente en rotación axialmente con respecto a los puntos de limitación en la SR o TSR.

25 Puede proporcionarse una alineación rotatoria entre sí esencialmente fija en la TBP o BDP (y en la TBPP o BPP, en los casos en los que esté presente), por ejemplo, mediante la presencia de los LM que limitan la cantidad de rotación entre las guías de LM adyacentes.

30 Puede proporcionarse una alineación rotatoria entre sí esencialmente fija en la TBP o BDP (y en la TBPP o BPP, en los casos en los que esté presente), por ejemplo, mediante guías de LM articuladas, en las que la guiñada entre las guías de LM articuladas adyacentes está limitada o se evita, tal como se describe más adelante a continuación.

Se proporciona una alineación rotatoria entre sí esencialmente fija en la SR o TSR, por ejemplo, mediante guías de LM fijas, en las que la guiñada entre las guías de LM fijas adyacentes está limitada o se evita, tal como se describe más adelante a continuación.

35 Los puntos de limitación aislados en la TBP o BDP (y en la TBPP o BPP, en los casos en los que esté presente) que están en una alineación rotatoria entre sí esencialmente fija pueden contribuir además a la reducción del espacio de contragolpe.

40 La rigidez de junta obtenida en la BDP depende en gran parte del momento de inercia de área anisotrópico ( $I_y$ ) de los LM. Otros factores pueden influir en la rigidez, incluyendo el módulo elástico, el módulo de cizalla, el número de LM, la distancia del LM al eje central del MTS, la longitud de la sección de LM, el momento de inercia polar.

45 La fuerza de contra-accionamiento es proporcional al momento de inercia de área ( $I$ ). La inercia se refiere a la longitud del lado largo de la sección plana del LM a la tercera potencia. Esto explica por qué resulta ventajoso el uso de, por ejemplo, un LM de perfil en forma de "I" con un lado largo y corto. El lado largo de la sección de plano da lugar a un momento de inercia de área superior en comparación con un alambre de dirección redondo convencional para el mismo área transversal. A este se le denomina efecto de 'regla'. Tal regla puede torsionarse fácilmente en una dirección. Sin embargo, en la otra dirección, este es altamente rígido. Esta es la última rigidez que se usa para bloquear las deformaciones de rotación axial y reducir el espacio de contragolpe en el sistema.

50 Debido al perfil de un LM, este no se puede rotar libremente en los puntos de limitación; una vez que el LM está en contacto con una pared de un canal (*por ejemplo*, la **FIG. 22B**), se evita la rotación y un segundo efecto entra en acción, a saber, el giro de la tira alrededor del eje z (véase la **FIG. 3**). La constante de torsión (medida de la resistencia frente a la torsión) se denomina el momento de inercia polar y es igual a la suma de  $I_x$  e  $I_y$  (momentos de inercia segundos, medida de la resistencia frente a la torsión). Existe un tercer efecto que surge cuando un LM únicamente en la dirección x golpea la pared de la guía de LM (**FIG. 22A**, con el LM, por ejemplo, movido hacia la izquierda para que toque la pared de la guía de LM). Esta condición se cumple muy rápidamente ya que la guía de LM se coloca cerca de la superficie exterior del instrumento, a una distancia radial que es mucho mayor que el espesor del LM. La guía de LM se torsiona sobre su lado resistivo más torsionado (momento de inercia anisotrópico) (véase la **FIG. 14**, 110). La constante de torsión para este efecto depende de:  $I_y$ , radio del instrumento (distancia del centro del LM al eje central del instrumento) al cuadrado e inversamente a la longitud del LM (distancia entre 2 puntos de limitación) al cuadrado. Debido a que la distancia entre los puntos de limitación es del mismo orden en comparación con el radio del instrumento y debido a que la  $I_y$  es alta debido a la anisotropía y debido a que el radio es grande en comparación con las dimensiones de la sección transversal del LM, este tercer efecto es muy importante. Este tiende a ser mucho mayor que el segundo efecto, lo que explica la ventaja del rasgo anisotrópico del LM.

65 Un LM de perfil rectangular con un espesor de 300  $\mu\text{m}$  y un ancho de 530  $\mu\text{m}$ , por ejemplo, tiene el mismo área transversal que un alambre redondo de 437  $\mu\text{m}$  de diámetro. Sin embargo, el momento de inercia de área sobre el

lado alargado (orientado en paralelo a la circunferencia del instrumento) de la tira rectangular es dos veces el momento de inercia de área del alambre redondo que da como resultado un aumento doble en la rigidez de rotación en la TBPP o BPP ( $300 \times 530 = \pi \times 218^2$ ) ( $1530 = 300 \times 530^3/12$ ) ( $437 = 437^4 \times \pi /64$ ).

- 5 El momento de inercia de área anisotrópico no solo reduce la rotación axial y, por tanto, el espacio de contragolpe, sino que también reduce la formación de una cadena cinemática en espiral dentro de la LMBDP (y, por tanto, la TBPP y BDP) o dentro de la LMBPP (y, por tanto, la TBPP y BPP). La cadena cinemática en espiral es una configuración no deseable en la LMBDP o la LMBPP en la que las guías de LM articuladas, a pesar de estar limitadas entre sí en rotación, adoptan una configuración mecánicamente estable en la que la guía de LM más proximal está desplazada de manera giratoria en comparación con la guía de LM más distal (véanse las **FIG. 21A** y **21B**). Tal configuración estable se realiza cuando las guías de LM constituyen una cadena cinemática que sigue una trayectoria en espiral. Los instrumentos omnidireccionales basados en una concatenación de guías de LM articuladas son propensos a este fenómeno. En el caso de los instrumentos quirúrgicos, esto da como resultado una rotación entre el eje y la parte distal torsionable de extremo. En cirugía, esta pérdida de transmisión de giro es altamente no deseable. Los presentes inventores han hallado que los LM que tienen un momento de inercia de área anisotrópico evitan la formación de esta configuración estable. El efecto se potencia cuando los puntos de limitación en la SR (TSR) y la TBPP (BDP) y en la TBPP (o BDP, en los casos en los que está presente) están en una alineación rotatoria entre sí esencialmente fija.
- 10
- 15
- 20 Los LM en el interior y el exterior de un giro de una TBPP o BPP torsionada y que son los principales LM implicados en la transmisión de fuerza, se torsionan sobre el eje con el menor momento de inercia de área. Los LM laterales o dispuestos en lados, no implicados ni directamente implicados en la transmisión de fuerza, tienen que torsionarse sobre el eje más rígido (véase la **FIG. 12**). En el caso de una TBPP o BPP de 10 mm de diámetro torsionada a 90° de deformación, el radio de torsión interno puede ser de 5 mm, mientras que el radio de torsión en el medio será de 10 mm. Por tanto, la torsión no favorable sobre el lado alargado del LM anisotrópico puede compensarse mediante un aumento del radio de torsión.
- 25

El MTS está provisto de una pluralidad (*por ejemplo*, de 2 a 30, de 3 a 20) de guías de LM configuradas para soportar y mantener la disposición de los LM alrededor del tubo ficticio. En particular, la pluralidad de guías de LM mantienen la mayoría de, preferentemente todos, los LM en una posición circunferencial constante sobre el tubo ficticio. Por mantenimiento de una posición circunferencial constante se entiende que un ángulo radial adoptado por un LM con respecto a un eje (A-A') longitudinal central del tubo ficticio es esencialmente constante y que la distancia radial de un LM desde el eje (A-A') longitudinal central del tubo ficticio es esencialmente constante. La guía de LM se configura para mantener la posición circunferencial esencialmente constante en un estado accionado o sin accionar.

30

35

En particular, la pluralidad de guías de LM limita axialmente en rotación la mayoría de, preferentemente todos, los LM, en particular, en la TBPP (y la TBPP, en los casos en los que esté presente), pero también en la TSR. Por limitación axialmente en rotación de un LM se entiende que la rotación de un LM sobre su eje (axial) longitudinal está limitada, por ejemplo, en un punto de limitación. La guía de LM se configura para mantener el ángulo de rotación axial esencialmente constante en un estado accionado o sin accionar. Un ángulo de rotación axial, beta, (véanse las **FIG. 22A** y **22B**) se refiere a un ángulo adoptado por una sección de plano del LM, por ejemplo, dentro del punto de limitación. Una sección de plano es típicamente una sección transversal perpendicular al eje (z) central longitudinal de un LM (véase la **FIG. 22A** y **B**). El ángulo de rotación axial, beta, es con respecto a un eje x de los ejes (x, y) perpendiculares entre sí que se intersectan en un centroide de la sección de plano y cuyo eje forma un plano que es paralelo a y se encuentra sobre la sección de plano. El centroide se entiende que es el centro geométrico de la sección de plano, más específicamente del perfil exterior de la sección de plano. Cuando la sección de plano tiene un perfil esencialmente rectangular, los ejes x e y se alinean paralelos a los bordes rectos del rectángulo, alineándose el eje x de tal manera que el momento de inercia de área con respecto al eje x es el más grande. Cuando la sección de plano tiene un perfil esencialmente irregular, el eje x se alinea de tal manera que el momento de inercia de área es el más grande con respecto al eje x. Beta es un cambio de ángulo del eje x (*por ejemplo*, x' en comparación con x en la **FIG. 22B**). En cuanto a un ángulo de rotación axial esencialmente constante, *es decir*, en los casos en los que el LM está limitado axialmente en rotación, beta, típicamente tiene una desviación de entre ±45 grados.

40

45

50

Una guía de LM en la BDP/TBDP (y BPP/TBPP, en los casos en los que esté presente) contiene el punto de limitación aislado mencionado anteriormente para un LM para limitar axialmente en rotación un LM y para mantener además el LM en una posición circunferencial esencialmente constante sobre el tubo ficticio, en la que los LM son deslizables longitudinalmente con respecto a cada punto de limitación aislado. En cuanto a la pluralidad de LM, esta permite que los LM sean deslizables entre sí en cada uno de dichos puntos de limitación aislados.

55

60

De manera similar, una guía de LM en la zona de eje o TSR contiene el punto de limitación aislado mencionado anteriormente para un LM para limitar axialmente en rotación un LM y para mantener además el LM en una posición circunferencial esencialmente constante sobre el tubo ficticio, en la que los LM son deslizables longitudinalmente con respecto a cada punto de limitación aislado. En cuanto a la pluralidad de LM, esta permite que los LM sean deslizables entre sí en cada uno de dichos puntos de limitación aislados.

65

5 Algunas guías de LM ("guías de LM articuladas" en el presente documento) pueden articularse entre sí, particularmente pueden pivotarse entre sí, soportando de este modo la torsión de los LM, de manera similar a una junta de empuñadura. Las guías de LM articuladas pueden disponerse en la TBDP y en la TBPP, en los casos en los que esté presente, que corresponden a la BDP y la BPP de la herramienta direccionable. Una guía de LM articulada puede articularse en uno o ambos lados.

10 Una o más guías de LM ("guías de LM fijas" en el presente documento) pueden fijarse en rotación entre sí, manteniendo de este modo una trayectoria (no de torsión) fija del LM. Estas pueden fijarse en rotación entre sí para reducir la flexibilidad de la TSR en comparación con la flexibilidad de la TBDP. La fijación de rotación evita la rotación entre sí en cualquiera de los tres ejes (por ejemplo, alabeo, cabeceo y guiñada). Las guías de LM fijas pueden disponerse en la TSR, que corresponde a la SR de la herramienta direccionable, dando lugar a una TSR esencialmente rígida o semirrígida.

15 Tal como se ha mencionado anteriormente, la TSR puede volverse rígida o semirrígida cuando se opera en conjunto con un exotubo o tubo exterior rígido o semirrígido. En otras palabras, la TSR puede ser flexible. Puede aplicarse rígidamente mediante la inserción de la TSR en un tubo rígido o semirrígido o mediante la sujeción de un tubo rígido o semirrígido alrededor de la TSR. Por tanto, las guías de LM articuladas pueden disponerse en la TSR, que corresponde a la SR de la herramienta direccionable.

20 Una guía de LM comprende un cuerpo que tiene un lado distal y un lado proximal, y un borde o superficie exterior que conecta los lados distal y proximal.

25 En cuanto a una guía de LM articulada, el cuerpo preferiblemente es sustancialmente en forma de disco, tal como se muestra, por ejemplo, en la **FIG. 18**. El disco puede disponerse en un lado distal con un receptáculo y en un lado proximal con una protuberancia (*por ejemplo*, una rótula) para acoplarse con un receptáculo de una guía de LM adyacente. Las guías de LM articuladas adyacentes, por tanto, forman una junta de rótula y un receptáculo articulario para el pivotamiento entre sí. Como guía general, en cuanto a los instrumentos, tales como los instrumentos quirúrgicos, un disco puede tener un diámetro de 0,1 cm, 0,2 cm, 0,3 cm, 0,4 cm, 0,5 cm, 0,6 cm, 0,8 cm, 1 cm, 1,2 cm, 1,4 cm, 1,6 cm, 1,8 cm, 2 cm o más, o un valor entre dos cualquiera de los valores mencionados anteriormente, preferentemente entre 0,2 cm y 1,6 cm. El disco, excluyendo las protuberancias, puede tener un espesor de 0,02 cm, 0,15 cm, 0,2 cm, 0,4 cm o más, o un valor entre dos cualquiera de los valores mencionados anteriormente, preferentemente entre 0,1 mm y 0,2 mm.

35 En cuanto a una guía de LM fija, el cuerpo preferiblemente es sustancialmente en forma cilíndrica, siendo los extremos del cilindro los lados distal y proximal. Como guía general, en cuanto a los instrumentos, tales como los instrumentos quirúrgicos, un cilindro puede tener un diámetro de 0,1 cm, 0,2 cm, 0,3 cm, 0,4 cm, 0,5 cm, 0,6 cm, 0,8 cm, 1 cm, 1,2 cm, 1,4 cm, 1,6 cm, 1,8 cm, 2 cm o más, o un valor entre dos cualquiera de los valores mencionados anteriormente, preferentemente entre 0,2 cm y 1,6 cm. El diámetro de la guía de LM articulada y la guía de LM fija puede ser el mismo.

40 La longitud del cilindro puede ser, por ejemplo, de 0,5 cm, 0,6 cm, 0,8 cm, 1 cm, 2 cm, 3 cm o más, o un valor entre dos cualquiera de los valores mencionados anteriormente, preferentemente entre 1 cm y 3 cm. Aunque se prefiere que esté presente una pluralidad de guías de LM fijas dispuestas en tándem, dentro del alcance de la invención se encuentra que una única guía de LM fija larga se dispone en la TSR, que corresponde a la SR de la herramienta direccionable.

Preferentemente, el cuerpo de la guía de LM, ya sea articulado o fijo, es un elemento de una pieza, por ejemplo, se forma mediante moldeo o mecanizado como una sola pieza, evitando el conjunto de una pluralidad de elementos.

50 El cuerpo está provisto de una disposición de dos o más, *por ejemplo*, 2, 3, 4, 5 canales. El número de canales puede depender del tamaño del instrumento; se prevén de 18 a 40 canales o más. Un canal comprende un espacio vacío en el cuerpo de la guía de LM articulada. Un canal pasa desde el lado distal hasta el lado proximal del cuerpo. Un canal tiene preferentemente un eje central desde el lado distal hasta el lado proximal del cuerpo que es paralelo al eje central de la guía de LM. Un canal puede alojar uno, dos o más LM, preferentemente solo un LM. Un canal actúa como punto de limitación. Un canal está dimensionado para limitar el LM, en particular, para evitar el movimiento radial con respecto al eje central del cuerpo. Un canal está dimensionado para limitar el LM, en particular, para evitar la rotación axial, *es decir*, sobre el eje (z) central de LM. Cada canal se configura además para mantener el LM en una posición circunferencial esencialmente constante sobre el tubo ficticio. Un canal está dimensionado para facilitar el movimiento deslizable longitudinal del LM a través del mismo. Los canales pueden disponerse alrededor de un tubo ficticio. Dicho tubo ficticio se corresponde con el tubo ficticio del MTS. Los canales se separan espacialmente entre sí. Un canal puede contener un perfil transversal que complementa el perfil del LM que va a alojarse. Un perfil transversal es perpendicular al eje central del canal. Por ejemplo, en los casos en los que el LM tiene un perfil rectangular, el canal puede contener un perfil rectangular. Se aprecia que el perfil de canal no necesita reflejar precisamente el perfil del LM, por ejemplo, un perfil de LM en forma de pista puede acoplarse mediante un canal rectangular.

- La pluralidad de guías de LM se dispone en tándem, *es decir*, el lado distal de una guía de LM se sitúa en sentido opuesto al lado proximal de una guía de LM adyacente. Un ejemplo de guías de LM articuladas dispuestas en tándem se muestra en la **FIG. 20**. La disposición en tándem de las guías de LM articuladas sirve para limitar los LM en un número de posiciones de limitación aisladas a lo largo del eje longitudinal del tubo ficticio del MTS. Pueden existir 2 o más (*por ejemplo*, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 o 10 o más) guías de LM articuladas dispuestas en tándem que proporcionen 2 o más (*por ejemplo*, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 o 10 o más) puntos de limitación aislados. Preferentemente, existen 7 o más guías de LM articuladas dispuestas en tándem que proporcionan 7 o más puntos de limitación aislados.
- La pluralidad de guías de LM articuladas se articula (por pares) entre sí. Preferentemente, la pluralidad de guías de LM articuladas está en contacto (por pares) entre sí. Se prefiere que se evite o limite la rotación relativa de las guías de LM adyacentes (*es decir*, la guiñada o la rotación axial entre las guías de LM articuladas adyacentes). La prevención o limitación de la guiñada permite que los puntos de limitación aislados estén en una alineación rotatoria entre sí esencialmente fija a lo largo del tubo ficticio. Según un aspecto, una línea radial que interseca un punto de limitación aislado (*por ejemplo*, un canal) de una guía de LM articulada muestra un ángulo de desviación,  $\epsilon$ , de no más de 10 grados, preferentemente de 5 grados, en comparación con el de una guía de LM articulada adyacente (véase las **FIG. 23**). La línea radial se irradia desde y es perpendicular al eje (**A-A'**) longitudinal central del tubo ficticio. Entre las guías de LM adyacentes, el punto de intersección con el punto de limitación aislado (*por ejemplo*, un canal) es el mismo para permitir una comparación.
- Preferentemente, una guía de LM articulada está en contacto con una guía de LM (límitrofe) adyacente usando una junta de pivote, tal como una junta de tipo rótula o receptáculo articular. Puede existir una junta de tipo rótula o receptáculo articular por par de guía de LM articulada. La junta de pivote permite el pivotamiento de una guía de LM articulada con respecto a una guía de LM articulada adyacente. La junta de pivote permite dos grados de libertad de movimiento con respecto a una guía de LM articulada adyacente, *es decir*, alabeo y cabeceo. La junta de pivote puede permitir alguna rotación relativa de las guías de LM articuladas adyacentes (*es decir*, la guiñada o la rotación axial entre las guías de LM articuladas adyacentes). Se prefiere la prevención o limitación de la guiñada, pero no es necesariamente un requisito en vista de que el uso de los LM que tienen un momento de inercia de área anisotrópico evita la holgura rotatoria, tal como se ha mencionado anteriormente, sin embargo, también se encuentra dentro del alcance de la invención. Se prefiere que la junta de pivote no pueda permitir una rotación relativa de las guías de LM articuladas adyacentes (*es decir*, la guiñada o la rotación axial entre las guías de LM articuladas adyacentes). La prevención o limitación de la guiñada puede lograrse, *por ejemplo*, usando un limitador que pueda ser una protuberancia fija sobre el cuerpo de una guía de LM articulada que se recibe mediante un rebaje fijo sobre el cuerpo de una guía de LM articulada adyacente (tal como se muestra, *por ejemplo*, en la **FIG. 18**); el acoplamiento evita la rotación axial de una guía de LM con respecto a la guía de LM adyacente.
- Una pluralidad de guías de LM fijas está entre sí (por pares) en relación fija. Estas están preferentemente en relación rotatoria fija. Estas están preferentemente en relación de distancia fija. Preferentemente, la pluralidad de guías de LM fijas está en contacto (por pares) entre sí. Una pluralidad de guías de LM fijas se configura para reducir la flexibilidad de la TSR, en comparación con la flexibilidad de la TBDP.
- Al igual que con las guías de LM articuladas adyacentes, se evita la rotación relativa de las guías de LM fijas adyacentes (*es decir*, la guiñada o la rotación axial entre las guías de LM fijas adyacentes). La prevención de la guiñada permite que los puntos de limitación aislados estén en una alineación rotatoria entre sí esencialmente fija a lo largo del tubo ficticio.
- La pluralidad de guías de LM se dispone en tándem de tal manera que los canales dispuestos en círculo están en alineación y pueden recibir, cada uno, un (u, opcionalmente, dos o más) LM. Preferentemente, la guía de LM articulada tiene forma sustancialmente de disco, está provista de 10-20 canales, configurado cada uno para alojar solo un LM, conteniendo cada canal un perfil rectangular, orientándose el lado largo del rectángulo en sentido opuesto a un eje central de la guía de LM, disponiéndose los canales alrededor de un círculo ficticio.
- Preferentemente, la guía de LM fija tiene forma sustancialmente de cilindro, está provista de 10-20 canales, configurado cada uno para alojar solo un LM, conteniendo cada canal un perfil rectangular, orientándose el lado largo del rectángulo en sentido opuesto a un eje central de la guía de LM, disponiéndose los canales alrededor de un círculo ficticio.
- Cada canal se configura para limitar el LM para reducir o evitar la rotación axial y para mantener su posición radial con respecto a un eje (**A-A'**) central de la guía de LM.
- El MTS puede estar provisto de un efector de extremo y configurado de tal manera que el efector de extremo se fija en rotación en relación con la LMBDP y el efecto de extremo se puede rotar cuando la LMBDP está en una posición torsionada, mediante una rotación complementaria de la LMBPP. Por tanto, la herramienta direccionable puede configurarse de tal manera que el efector de extremo se fija en rotación en relación con la BDP y el efector de extremo se puede rotar cuando la BDP está en una posición torsionada, mediante una rotación complementaria de la BPP. El efector de extremo fijo en rotación puede realizarse mediante una fijación permanente a la punta de la LMBDP o BDP, *por ejemplo*, mediante soldadura o adhesivo. Como alternativa, el efector de extremo fijo en rotación puede realizarse mediante una fijación giratoria bloqueable a la punta de la LMBDP o BDP, en la que el efector de extremo se fija en rotación en relación cuando el efector de extremo se bloquea en una posición.
- Se hace referencia en la descripción, a continuación, a los dibujos que ejemplifican realizaciones particulares de la invención; estos no pretenden de ningún modo ser limitantes. Se entenderá que el experto puede adaptar el dispositivo y sustituir los componentes y los rasgos según las prácticas comunes del experto.
- La **FIG. 1** representa un sistema de transmisión mecánica (MTS) de la invención **100** mostrada en aislamiento que

tiene un extremo proximal **20** y un extremo distal **40**, y un eje **A-A'** longitudinal central. El MTS **100** que comprende una pluralidad (*es decir*, 4) de miembros longitudinales (LM) **110** dispuestos longitudinalmente y dispersados uniformemente alrededor de un tubo ficticio **120** longitudinal que tiene una forma cilíndrica. El MTS **110** contiene una parte distal torsionable de transmisión (TBDP) **130** y una zona de eje de transmisión (TSR) **132** que es esencialmente rígida o semirígida en la zona de eje de la herramienta direccionable o que se mantiene rígida o semirígida en la zona de eje de la herramienta direccionable mediante la operación conjunta con un exotubo.

La **FIG. 2** representa el MTS **100** de la **FIG. 1** en el que la TBDP **130** está torsionada y la TSR **132** permanece en la misma configuración recta.

La **FIG. 3** representa dos ejes de intersección **116** (eje x), **118** (eje y) sobre una sección de plano **114** que es una sección transversal plana del LM **110** en posición **112** en la **FIG. 1**, sección transversal que tiene un perfil en forma de "I". Los ejes que se intersecan en un punto **111** que es un centroide del perfil (forma exterior) de la sección transversal plana **114**. Los ejes **116**, **118** son perpendiculares entre sí. El eje **116** sobre el que el LM tiene el momento de inercia de área superior (eje x, **116**) se orienta de tal manera que es esencialmente radial al eje (**A-A'**) central del MTS. Un eje z **119** también se indica que es perpendicular tanto al eje x **116**, como al eje y **118**.

La **FIG. 4** representa una vista exterior de un MTS **100** de la invención, que tiene un extremo proximal **20** y un extremo distal **40**, y una parte distal torsionable de transmisión (TBDP) **130**, una zona de eje de transmisión (TSR) **132** y una parte proximal torsionable de transmisión (TBPP) **134**. La zona de eje de transmisión (TSR) **132** se dispone con una pluralidad de guías de LM fijas **350**, **350'**, **350''** proporcionando cada una puntos de limitación para la rotación axial del LM, en la que cada LM es longitudinalmente deslizable con respecto a cada guía de LM **350**, **350'**, **350''**. La TBDP **130** y la TBPP **134** se disponen con una pluralidad de guías de LM articuladas **305**, **305'**, **305''**, **305a**, **305a'**, **305a''**, proporcionando cada una un punto de limitación aislado para la rotación axial del LM, en la que cada LM es longitudinalmente deslizable con respecto a cada guía de LM **305**, **305'**, **305''**, **305a**, **305a'**, **305a''**.

La **FIG. 5** representa el MTS **100** de la **FIG. 4**, en el que la TBPP **134** se ha accionado mediante torsión, transmitiéndose el movimiento a la TBDP **130** a lo largo de la TSR **132** mediante el MTS, que la TBDP **130** se torsiona en respuesta.

La **FIG. 6** representa una sección transversal semicircular (*es decir*, la sección de plano **114**) de un LM y los ejes x e y de intersección sobre los que se miden los momentos de inercia, ejes que se centran en un punto **111** que es el centroide de la sección transversal. La relación  $I_x/I_y = 3,57$ , que se calcula según la Ec 1 y la Ec 2.

La **FIG. 7** representa una sección transversal rectangular (*es decir*, la sección de plano **114**) de un LM y los ejes x e y de intersección alrededor de los que se miden los momentos de inercia, ejes que se centran en un punto **111** que es el centroide de la sección transversal. La relación  $I_x/I_y = 4$ , que se calcula según la Ec 1 y la Ec 2.

La **FIG. 8** representa una sección transversal en forma de "I" (*es decir*, la sección de plano **114**) de un LM y los ejes x e y de intersección alrededor de los que se miden los momentos de inercia, ejes que se centran en un punto **111** que es el centroide de la sección transversal. La relación  $I_x/I_y = 9,2$ , que se calcula según la Ec 1 y la Ec 2.

La **FIG. 9** representa una sección transversal rectangular de bordes redondeados (*es decir*, la sección de plano **114**) de un LM y los ejes x e y de intersección alrededor de los que se miden los momentos de inercia, ejes que se centran en un punto **111** que es el centroide de la sección transversal. La relación  $I_x/I_y = 4$ , que se calcula según la Ec 1 y la Ec 2.

La **FIG. 10** representa una sección transversal en forma de pista (*es decir*, la sección de plano **114**) de un LM y los ejes x e y de intersección alrededor de los que se miden los momentos de inercia, ejes que se centran en un punto **111** que es el centroide de la sección transversal. La relación  $I_x/I_y = 4$ , que se calcula según la Ec 1 y la Ec 2.

La **FIG. 11** representa una vista de lado de un medio de transmisión mecánica **50**, no de la invención, que tiene un extremo proximal **20** y un extremo distal **40** y se forma usando miembros longitudinales **52**, **52'**, **52''** conectados en el extremo distal a un elemento de fijación de miembros longitudinales distal **55**. La zona de eje de transmisión está provista de una guía fija de miembro longitudinal **64**. Las secciones transversales de los miembros longitudinales **52**, **52'**, **52''** se representan cada una teniendo una sección de plano circular **56**, **56'**, **56''**. La torsión de cada uno de los miembros longitudinales **52**, **52'**, **52''** se facilita aparentemente mediante los miembros longitudinales de perfil circular que tienen un momento de inercia de área isotrópico, particularmente, con respecto a aquellos miembros longitudinales, por ejemplo, **52** que son periféricos a los miembros longitudinales **52'**, **52''** que accionan el movimiento de torsión. Por tanto, todos los miembros longitudinales **52**, **52'**, **52''** se torsionan con una resistencia igual, a pesar de que cada miembro longitudinal, *por ejemplo*, **52**, **52'**, **52''** se torsione en una dirección relativa diferente (véase la dirección de la flecha **58**, **58'**, **58''**, en comparación con un indicador de orientación **60**, **60'**, **60''**).

La **FIG. 12** representa una vista de lado de un MTS **100** de la invención, que tiene un extremo proximal **20** y un extremo distal **40** y se forma usando LM **110**, **110'**, **110''** conectados en el extremo distal a un elemento de fijación de LM distal **113**. La zona de eje de transmisión (TSR) está provista de una guía de LM fija **350**. Las secciones de plano

- 5 **114, 114', 114"** del LM **110, 110, 110"** se representan con perfiles en forma de "I". La torsión de cada uno de los LM **110, 110, 110"** no se impide, sorprendentemente, mediante los LM de perfil en forma de "I" que tienen secciones de plano con un momento de inercia de área anisotrópico, particularmente con respecto a aquellos LM, *por ejemplo*, **110** que son periféricos a los miembros longitudinales **110', 110"** que accionan el movimiento de torsión. Por tanto,
- 10 todos los miembros longitudinales **110, 110', 110"** se torsionan sin pandeo o giro, a pesar de que cada miembro longitudinal, *por ejemplo*, **110, 110', 110"** se torsione en una dirección relativa diferente (véase la dirección de la flecha **158, 158', 158"**), y a pesar de que los miembros longitudinales periféricos, *por ejemplo*, **110**, se torsionen en una dirección que tenga un momento de inercia de área mayor.
- 15 La **FIG. 13** es una vista esquemática de un medio de transmisión mecánica **50** de la **FIG. 11** y no de la invención, que demuestra el giro de los miembros longitudinales **52, 52', 52"** en una parte torsionable distal **64** cuando el par **62** se aplica a una zona de eje **66**. Cada uno de los miembros longitudinales **52, 52', 52"** tiene un perfil circular y, por tanto, un momento de inercia de área isotrópico. Por tanto, el uso de miembros longitudinales circulares introduce un espacio de contragolpe en la transmisión de par a través de la zona de eje **66** y a la parte distal torsionable **64**.
- 20 La **FIG. 14** es una vista esquemática de un MTS **100** de la **FIG. 11** y de la invención, que demuestra un giro significativamente menor de los LM **110, 110', 110"** en la parte distal torsionable de transmisión (TBDP) **130** cuando el par **162** se aplica a la TSR **132**. Cada uno de los miembros longitudinales **110, 110', 110"** tiene una sección de plano en forma de "I" y, por tanto, un momento de inercia de área anisotrópico. Por tanto, el uso de LM de perfil en forma de "I" reduce o retira el espacio de contragolpe en la transmisión de par a través de la zona de eje de LM **132** y a la TBDP **130**.
- 25 La **FIG. 15** es una vista esquemática de un MTS **100** de la **FIG. 14** y de la invención, que muestra un único LM **110** aislado. Esta muestra la aplicación de fuerza (**164**) al LM **110** y su resistencia a la torsión, atribuible al momento de inercia de área anisotrópico.
- 30 La **FIG. 16** muestra los diferentes radios de torsión de los LM anterior **110"**, posterior **110'** y lateral **110** dispuestos en el MTS **100** en la TBDP **130**. El radio de torsión **117a** es menor para el LM anterior **110"** ubicado en el interior de la torsión, en comparación con el radio de torsión **117b** del LM lateral **110**, LM lateral **110** que es más rígido en la dirección de torsión debido al momento de inercia de área anisotrópico del LM **110**.
- 35 La **FIG. 17** es una vista en planta de una guía de LM **300** que tiene forma de disco. La guía de LM **300** tiene un cuerpo **302** que se dispone con 4 canales **310** aislados, dispuestos alrededor de un tubo ficticio **320**. El tubo ficticio **320** se corresponde con el tubo ficticio **120** en la **FIG. 1**. Cada canal **310** limita un LM **110**. Cada canal se considera como un punto de limitación aislado.
- 40 La **FIG. 18** es una vista de lado de una guía de LM **300** que es una guía de LM articulada **305** que tiene una forma de disco y un lado distal **40** y un lado proximal **20**. La guía de LM articulada **300** tiene un cuerpo **302** que comprende en el lado distal **40**, un componente del par de componentes que forma una junta de pivote que es una protuberancia abovedada **330**, similar a la rótula de una junta de rótula y un receptáculo articulario. Este comprende además, en el lado proximal **20**, el otro componente del par de componentes que forma una junta de pivote que es un rebaje recíproco **340**, similar al receptáculo de una junta de rótula y un receptáculo articulario. Además, se indica un par de limitadores de rotación (**332, 332'**) conectados fijamente a la protuberancia abovedada **330**, que son protuberancias radiales de dicha protuberancia abovedada **330**. Estos se asocian a un par de ranuras recíprocas **340, 340'** conectadas fijamente al rebaje receptor **340** de una guía de LM articulada adyacente (no mostrada), para evitar la rotación axial entre sí de guías de LM articuladas adyacentes. Cada guía de LM articulada contiene un punto de limitación aislado (es decir, un canal) y el par de limitadores de rotación proporcionan una alineación en rotación entre sí esencialmente fija del punto de limitación aislado a lo largo del tubo ficticio. La **FIG. 19** muestra una herramienta direccionable **500** que incorpora un MTS de la invención. La herramienta direccionable **500** tiene un extremo proximal **20** y un extremo distal **40**. El extremo distal **40** está provisto de un efector de extremo (**540**) que es un agarre, mientras que el extremo proximal **20** está provisto de un mango **550** para dirigir el tubo y controlar el agarre. También se indican la parte distal torsionable (BDP) **530**, la zona de eje (SR) **532** y la parte proximal torsionable (BPP) **534**.
- 50 La **FIG. 20** es una vista esquemática de un MTS **100** de la invención que tiene un extremo proximal **20** y un extremo distal **40**, provisto de 4 LM **110** dispuestos alrededor de un tubo ficticio, mantenido en una posición con una pluralidad de guías de LM articuladas **305, 305', 305"** en la TBDP **130**, proporcionadas cada una con una pluralidad de canales alineados. Uno de un par complementario de elementos (protuberancia abovedada **330**) de una junta de pivote se indica en la guía de LM más distal **300"**. La TSR **132** contiene una pluralidad de guías de LM fijas dispuestas en tándem **350, 350', 350"** que mantienen la posición de los LM **110** en la TSR **130**.
- 60 La **FIG. 21A** muestra una parte distal torsionable de un medio de transmisión mecánica **50**, no de la invención, que tiene un extremo proximal **20** y un extremo distal **40**. El medio de transmisión mecánica **50** se dispone con miembros longitudinales de perfil circular **52, 52', 52"**, teniendo cada uno un segundo momento de inercia de área isotrópico, miembros longitudinales **52, 52', 52"** que se limitan en una posición circunferencial y radial mediante una pluralidad de guías articuladas de miembro longitudinal **54, 54', 54"**. Se evita la rotación axial entre sí de las guías articuladas

de miembro longitudinal **54**, **54'**, **54''** adyacentes debido a la presencia de limitadores de rotación (no indicados) sobre cada guía de miembro longitudinal **54**, **54'**, **54''**.

5 La **FIG. 21B** muestra la parte distal torsionable de un medio de transmisión mecánica **50** de la **FIG. 21A** y no de la invención, que ha entrado en el estado de cadena cinemática en espiral estable y no deseable mediante el que los miembros longitudinales de perfil circular **52**, **52'**, **52''** en el extremo proximal **20** se giran con respecto al extremo distal **40**, a pesar de la presencia de limitadores de rotación.

10 La **FIG. 22** muestra dos orientaciones ejemplares de un miembro longitudinal **110a**, **110b** presente en un canal de guía de LM **310** o **310'** en el que el eje x de una sección de plano **114** de un miembro longitudinal **110b** se muestra para desviarse de una línea imaginaria **115** trazada entre el eje (**A-A'**) central y el centroide **111** de la sección de plano **114** mediante un ángulo alfa cuando está limitado por un canal de guía de LM **310'**. El otro miembro longitudinal **110a** no muestra tal desviación, es *decir*, alfa es cero cuando está limitado por un canal de guía de LM **310**.

15 Las **FIG. 22A** y **22B** ilustran un ángulo beta que es un cambio en un ángulo de rotación axial de un LM **110**. La **FIG. 22A** representa una orientación de partida de un eje (X) y la **FIG. 22B** representa el eje (x') en uno de los límites de rotación dentro de un canal **310**. En cuanto a un ángulo de rotación axial esencialmente constante de un LM **110**, es *decir*, en los casos en los que el LM está limitado axialmente en rotación en un punto de limitación aislado, el ángulo beta se desvía entre determinados límites.

25 La **FIG. 23 I** y **II** ilustran una TBDP (**130**) dispuesta con una pluralidad de guías de LM articuladas (**305B** a **E**) y un eje (**A-A'**) longitudinal central del tubo ficticio y una TSR (**132**) dispuesta con guías de LM fijas (**305A**). En **I**, la TBDP (**130**) es recta (sin accionar) y en **II**, la TBDP (**130**) está curvada (accionada). Las **FIG. 23 Y** y **X** muestran vistas en planta esquemáticas de guías de LM aisladas para ilustrar el ángulo de desviación, épsilon. La **FIG. 23A** muestra la línea radial (**312X**) de una guía de LM (**305X**) que se proyecta desde el eje (**A-A'**) longitudinal central del tubo ficticio y que interseca su canal **310X**, La **FIG. 23Y** muestra la línea radial (**312Y**) de otra guía de LM (**305X**) que interseca su canal **310X**. X e Y son las guías de LM entre las que debe medirse el valor de épsilon. Por ejemplo, en los casos en los que épsilon es una medida del ángulo de desviación entre dos guías de LM articuladas adyacentes, X puede ser I-C e Y puede ser I-D.

30 En los casos en los que épsilon es una medida del ángulo de desviación entre una guía de LM articulada más proximal y una guía de LM articulada más distal en la TBDP (**130**), X puede ser I-B e Y puede ser I-E. En los casos en los que épsilon es una medida del ángulo de desviación entre la guía de LM fija en la TSR (**132**) y una guía de LM articulada más distal, X puede ser I-A e Y puede ser I-E.

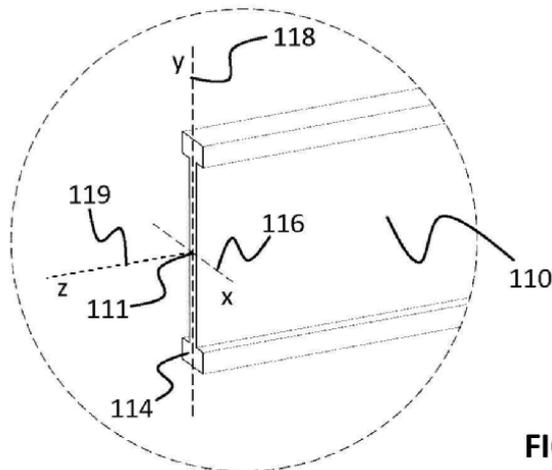
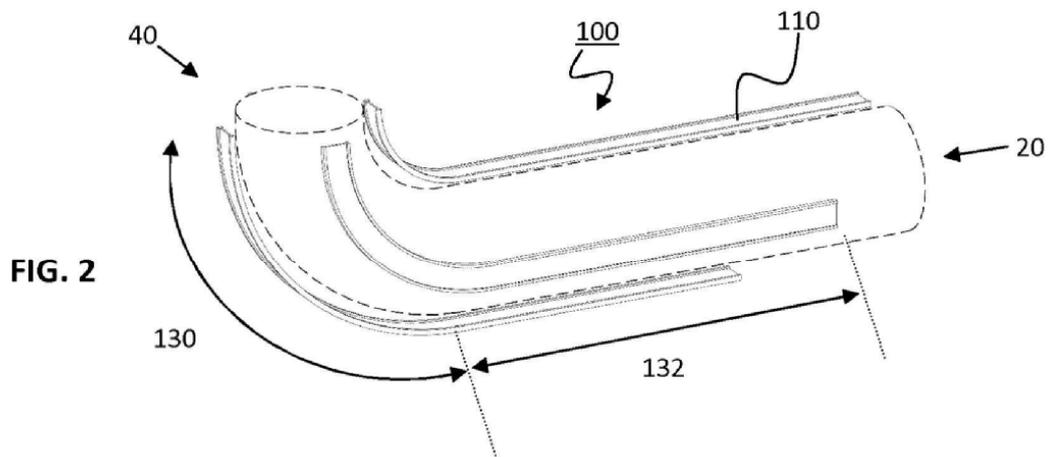
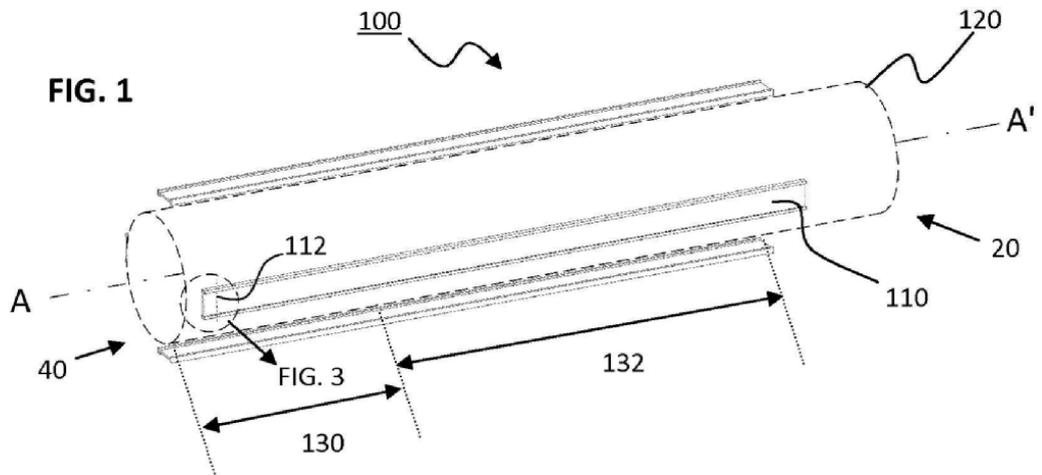
35 La diferencia angular entre las líneas radiales (**312A** y **312X**) de estas respectivas guías de LM, el ángulo de desviación, se indica como épsilon. Las **FIG. 23 I-A** a **I-E** son vistas en planta esquemáticas de las guías de LM aisladas de la **FIG. 23**, en las que no existe ninguna desviación (épsilon es cero) entre las guías de LM adyacentes y cuando la TBDP (**130**) es recta (sin accionar). Las **FIG. 23 II-A** a **II-E** son vistas en planta esquemáticas de las guías de LM aisladas de la **FIG. 23-II**, en las que no existe ninguna desviación (épsilon es cero) entre las guías de LM adyacentes y cuando la TBDP (**130**) está curvada (tensionada).

40

## REIVINDICACIONES

1. Una herramienta direccionable (**500**) que tiene un extremo proximal (**20**) y un extremo distal (**40**) y que comprende una zona de eje (**532**), una parte proximal torsionable, BPP (**534**), que se puede mover omnidireccionalmente, y una parte distal torsionable, BDP (**530**), que se puede mover omnidireccionalmente y se configura para moverse en respuesta al movimiento de la BPP (**534**), herramienta direccionable (**500**) que comprende un sistema de transmisión mecánica, MTS, que comprende una pluralidad de miembros longitudinales, LM (**110**), teniendo cada uno un extremo proximal (**20**) y un extremo distal (**40**), dispuestos en una dirección longitudinal alrededor de un tubo ficticio (**120**), y tiene una correspondiente zona de eje de transmisión, TSR (**132**), una parte proximal torsionable de transmisión, TBPP (**134**), y una parte distal torsionable de transmisión, TDBP (**130**), en la que una sección de plano (**114**) de al menos un LM (**110**) demuestra un momento de inercia de área anisotrópica y la mayoría de los LMs (**110**) están limitados, cada uno, axialmente en rotación en puntos de limitación en los que los LM son deslizables longitudinalmente con respecto a cada punto de limitación aislado y el MTS (**100**) se configura de tal manera que la punta de la BDP (**530**) se puede rotar axialmente en una posición torsionada mediante una rotación complementaria de la BPP (**534**) en la que
- el MTS (**100**) se proporciona además con guías de LM (**300, 305, 305a 350**) configuradas cada una para limitar axialmente en rotación dicha mayoría de los LMs (**110**) en los puntos de limitación, estando al menos 2 guías de LM (**300, 305**) en la TDBP (**130**) y estando al menos 2 guías de LM (**300, 305a**) en la TBPP (**134**),
  - cada guía de LM (**300, 305, 305a, 350**) comprende un cuerpo provisto de una pluralidad de canales (**310**) aislados dispuestos alrededor del tubo ficticio (**320, 120**) configurado para limitar axialmente en rotación dicha mayoría de los LMs (**110**) en los puntos de limitación y para mantener los LMs (**110**) en una posición circunferencial esencialmente constante sobre el tubo ficticio (**120**) en el punto de limitación, y
  - las guías de LM (**300**) en la TDBP (**130**) y la TBPP (**134**) son guías de LM articuladas (**305, 305', 305", 305a, 305a', 305a"**) dispuestas en tándem respectivamente y articuladas entre sí de tal manera que se permite el movimiento pivotante en dos grados de libertad con respecto a una guía de LM articulada adyacente, soportando de este modo la torsión de los LMs (**110**) en la TDBP (**530**) y en la TBPP (**534**) respectivamente.
2. La herramienta direccionable (**500**) según la reivindicación 1, en la que:
- al menos una de las guías de LM (**350, 350' 350"**) se dispone en la TSR (**132**) y proporciona al menos un punto de limitación a lo largo de la TSR (**132**) en la mitad distal de la TSR (**132**) preferentemente en el 10 % de la longitud total de la TSR (**132**) ubicada en el extremo distal de la (**132**), y/o
  - al menos una de las guías de LM (**350, 350' 350"**) se dispone en la TSR (**132**) y proporciona al menos otro punto de limitación a lo largo de la TSR (**132**) en la mitad proximal de la TSR (**132**), preferentemente en el 10 % de la longitud total de la TSR (**132**) ubicada en el extremo proximal de la TSR (**132**).
3. La herramienta direccionable (**500**) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en la que un canal (**310**) configurado para limitar axialmente en rotación un LM (**110**) en la TDBP o la TBPP contiene un perfil en sección transversal que complementa la sección de plano (**114**) del LM.
4. La herramienta direccionable (**500**) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que las guías de LM articuladas (**305, 305', 305"**) están en contacto entre sí por pares a través de una junta de pivote que comprende una junta de rótula y un receptáculo articulario.
5. La herramienta direccionable (**500**) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que la guiñada entre las guías de LM articuladas adyacentes está limitada para proporcionar una alineación rotatoria entre sí esencialmente fija de los puntos de limitación aislados a lo largo del tubo ficticio.
6. La herramienta direccionable (**500**) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que la TSR (**132**) contiene una pluralidad de guías de LM que son guías de LM fijas (**350, 350', 350"**) y se fijan en rotación una con respecto a la otra para reducir la flexibilidad de la TSR (**132**) en comparación con la flexibilidad de la TDBP (**130**) o la TBPP (**134**).
7. La herramienta direccionable (**500**) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la sección de plano del LM tiene un perfil de segmento rectangular, de letra "I" o circular, opcionalmente, en el que una o más de las esquinas de perfil son puntiagudas o redondeadas.
8. La herramienta direccionable (**500**) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la BDP (**530**) y la BPP (**534**) pueden curvarse al menos parcialmente.
9. La herramienta direccionable (**500**) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en la que el extremo distal (**40**) está provisto de un efector de extremo (**540**), que es un agarre, y el extremo proximal (**20**) está provisto de un mango (**550**) para controlar el agarre.

10. Un robot quirúrgico que comprende la herramienta direccionable según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.



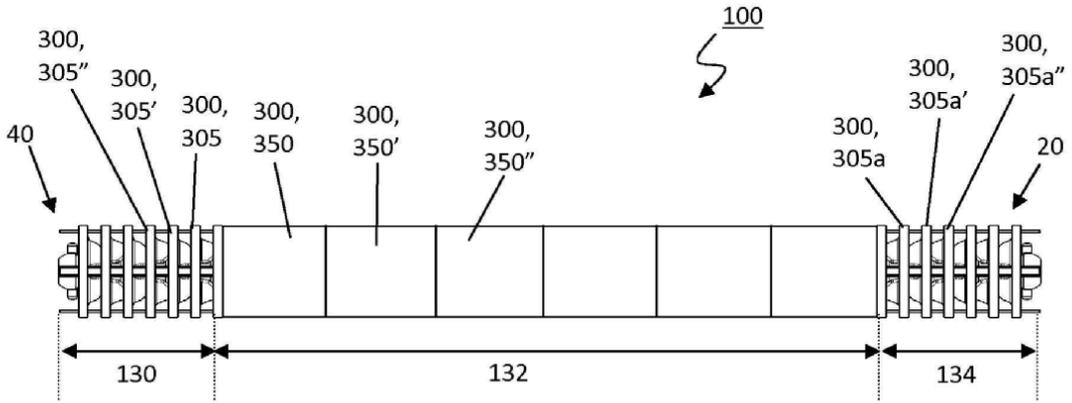


FIG. 4

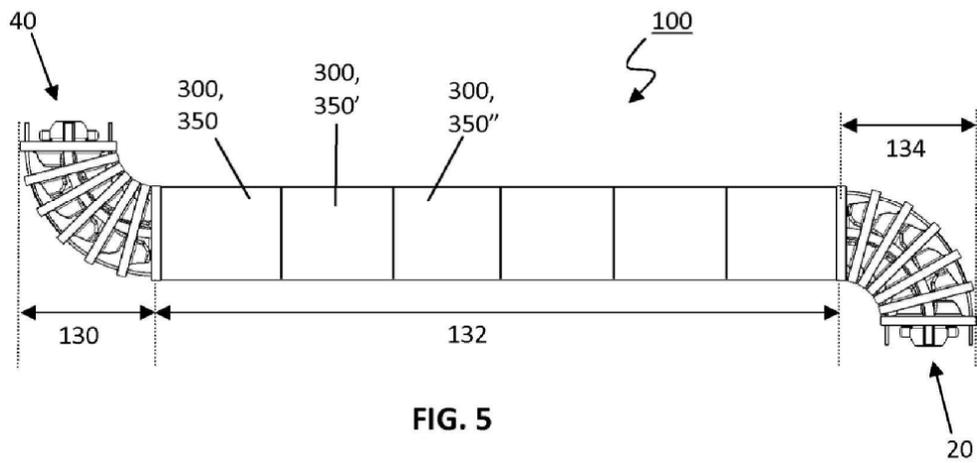


FIG. 5

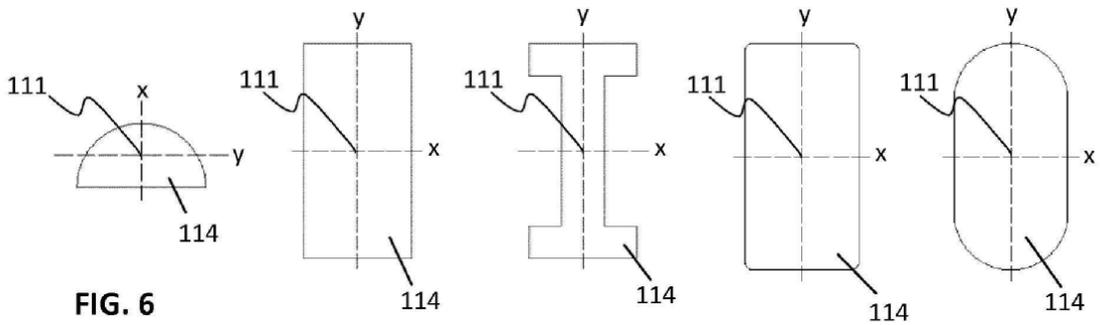


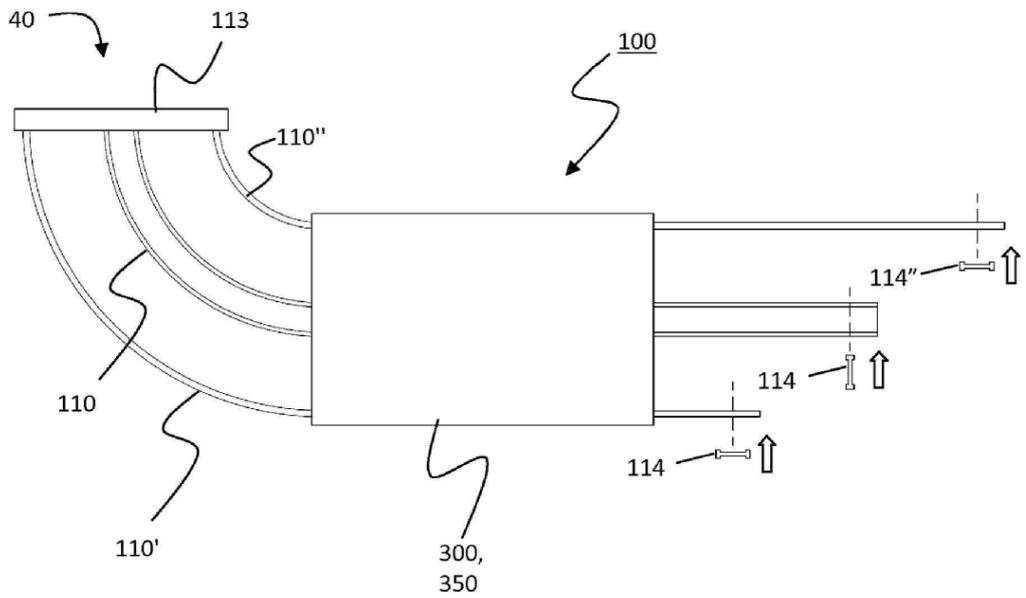
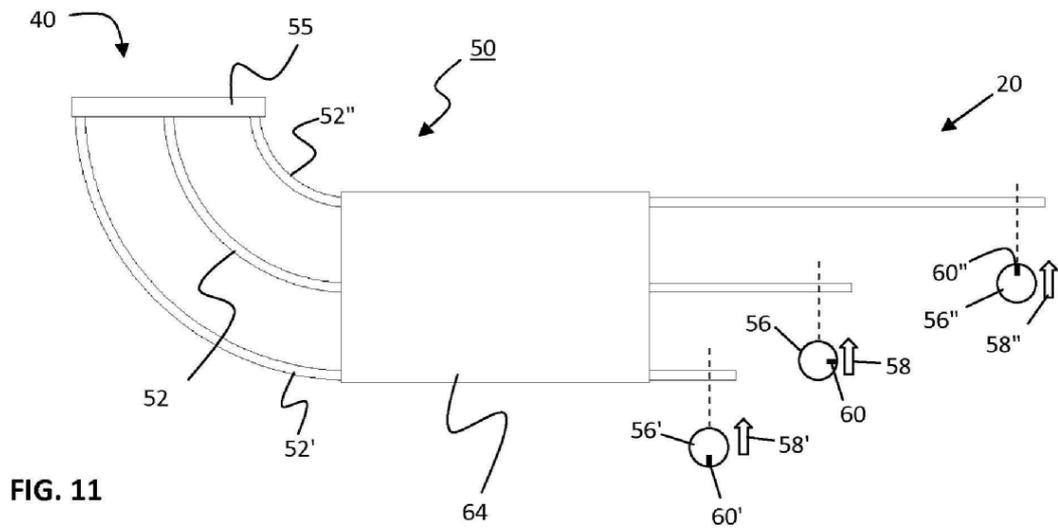
FIG. 6

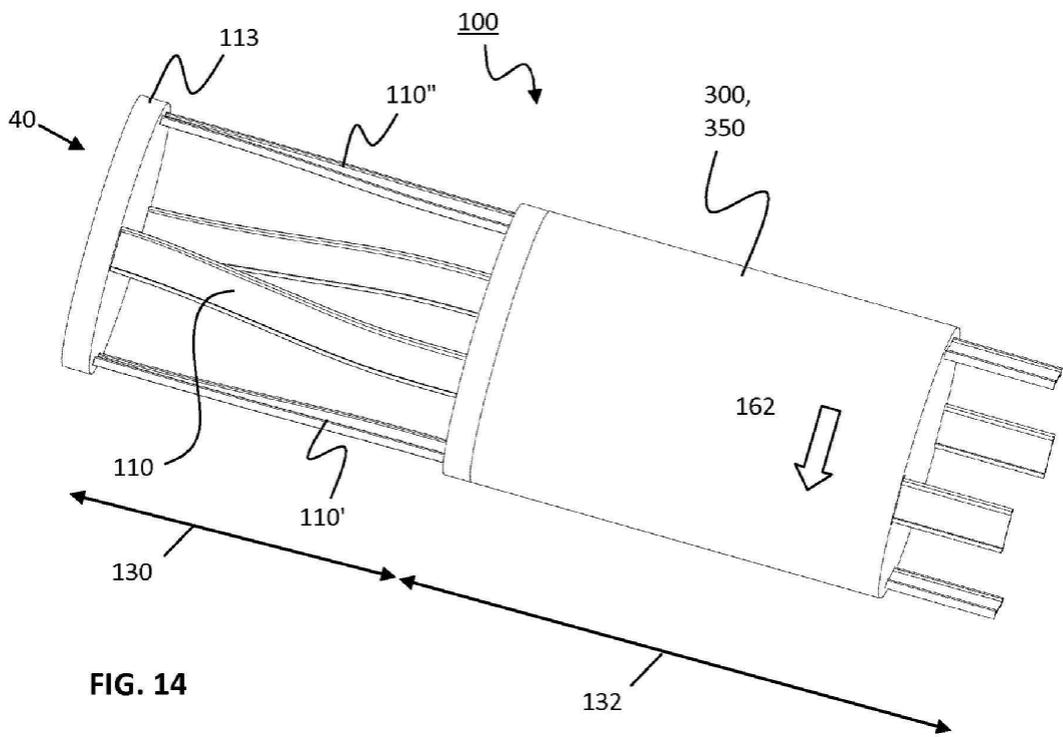
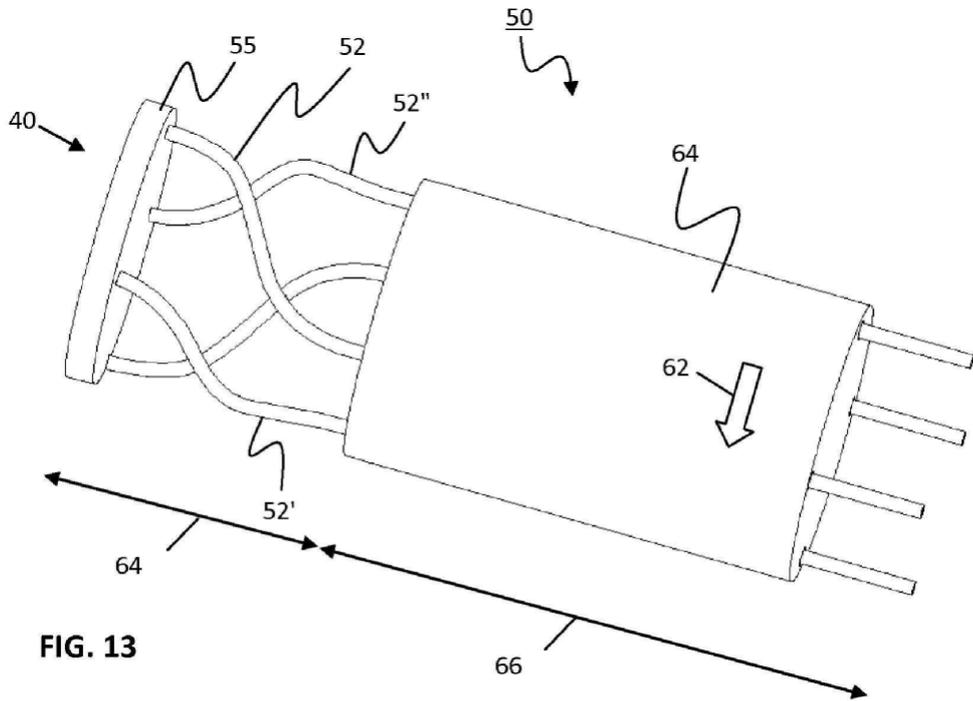
FIG. 7

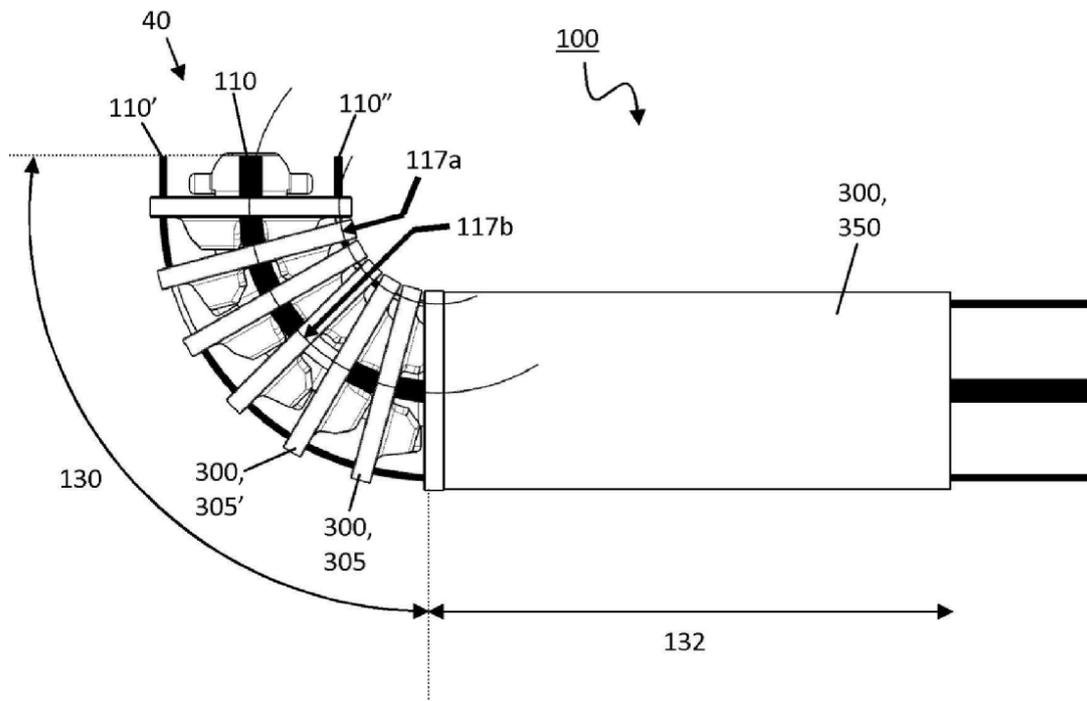
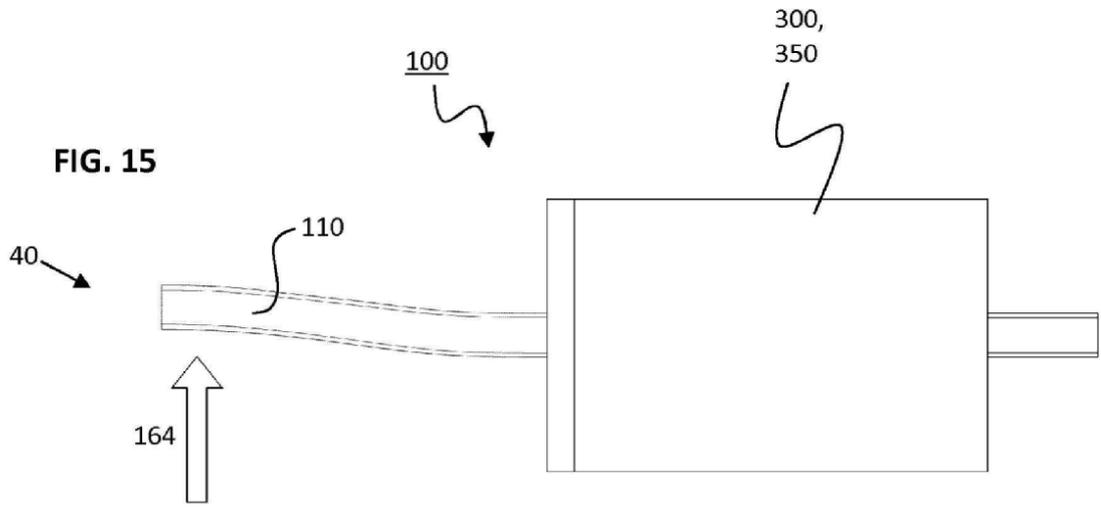
FIG. 8

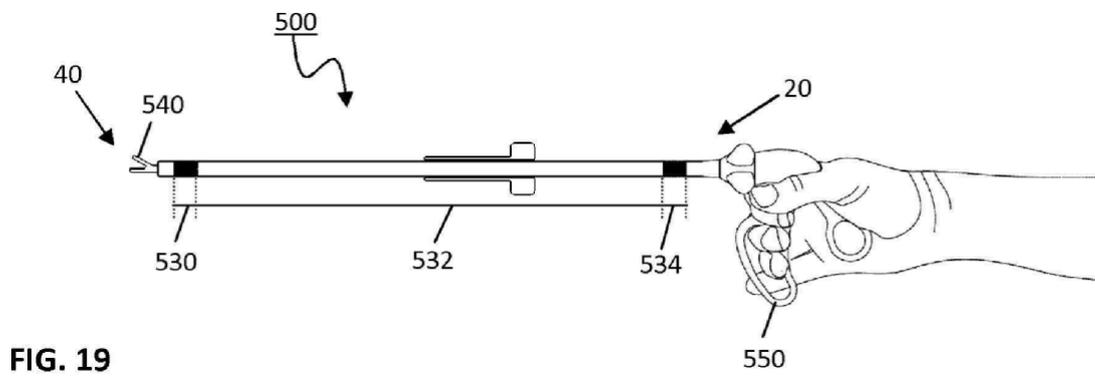
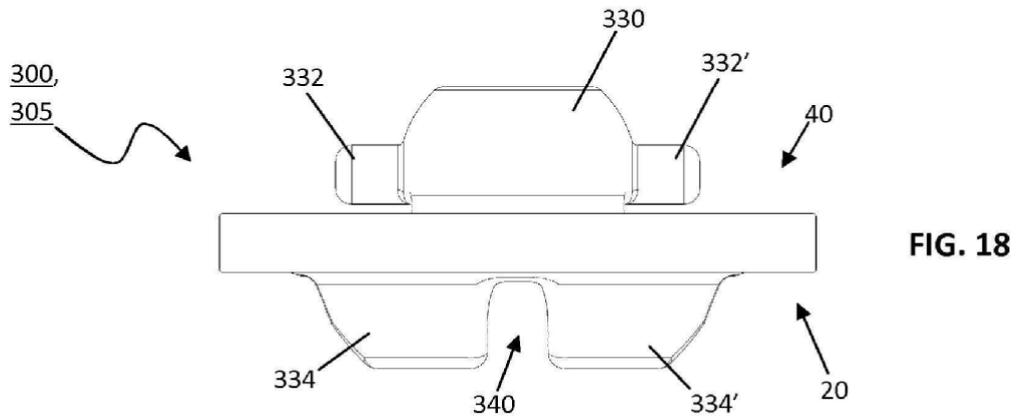
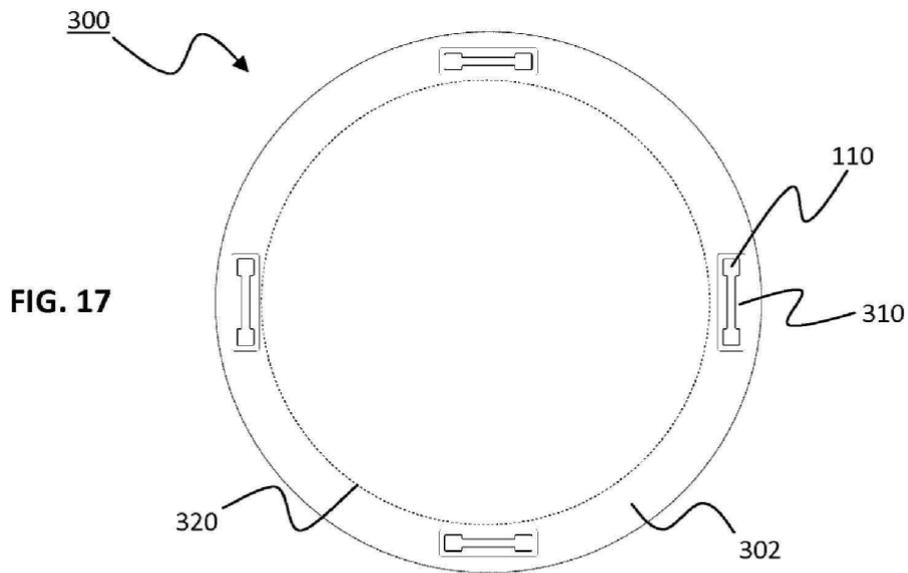
FIG. 9

FIG. 10









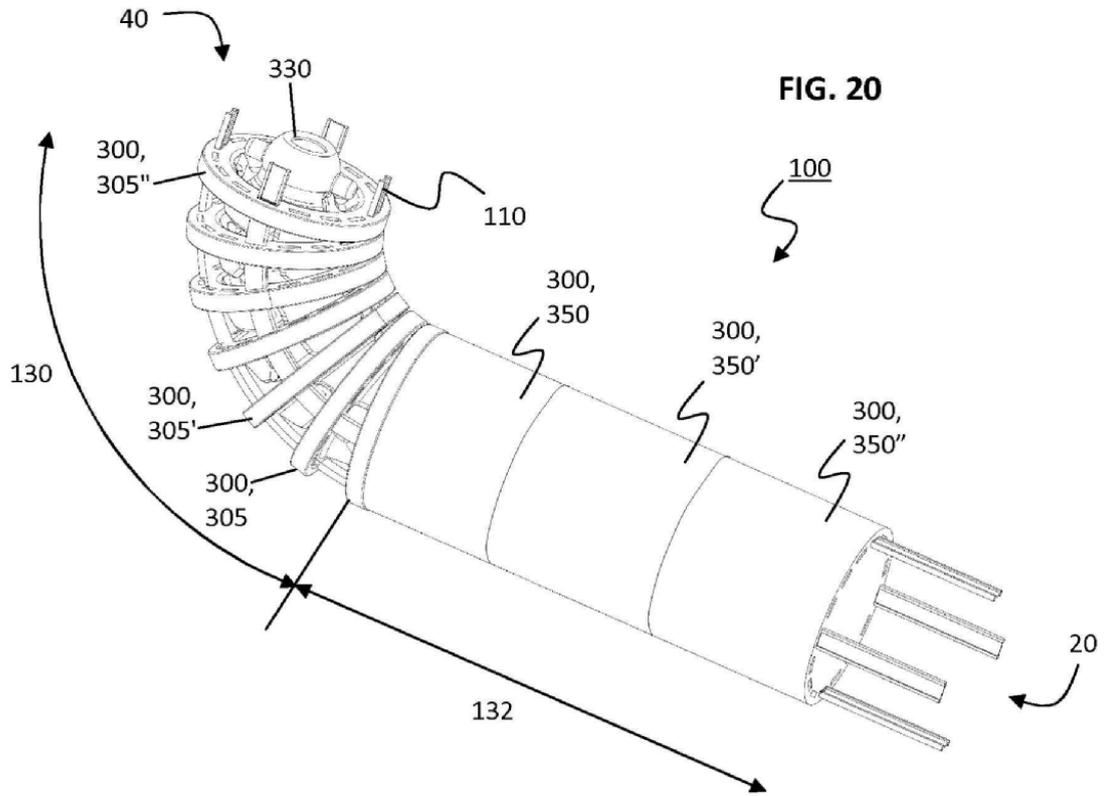


FIG. 20

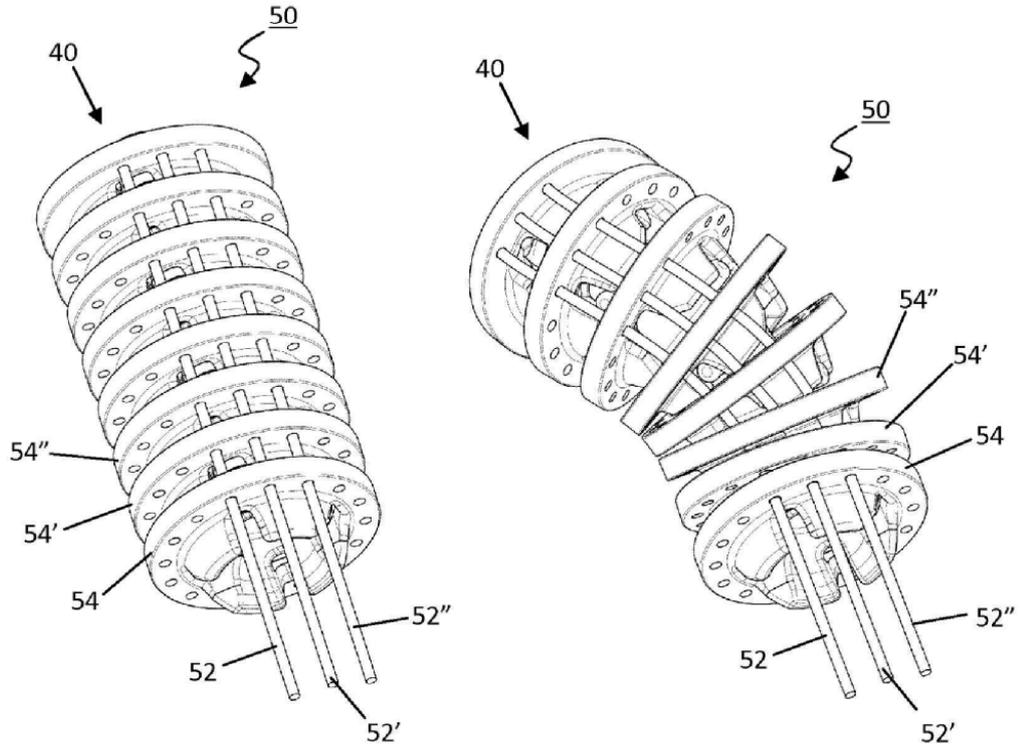


FIG. 21A

FIG. 21B

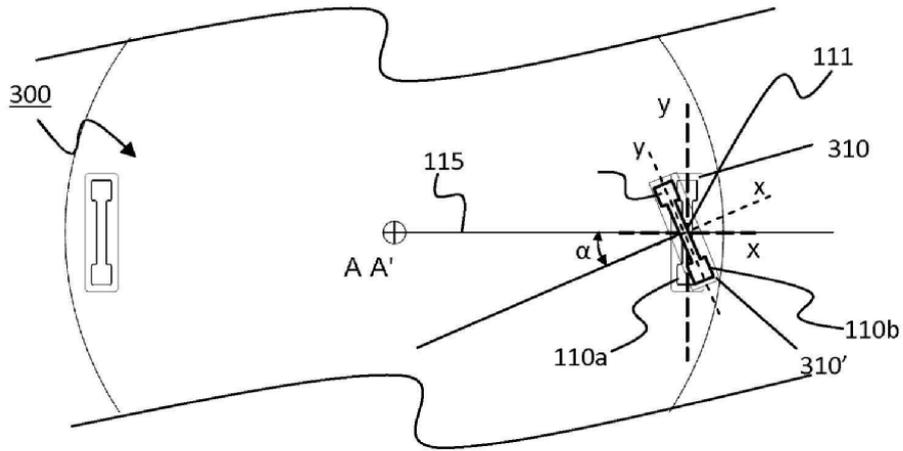


FIG. 22

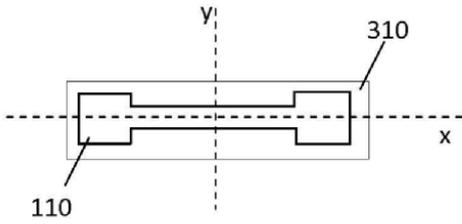


FIG. 22A

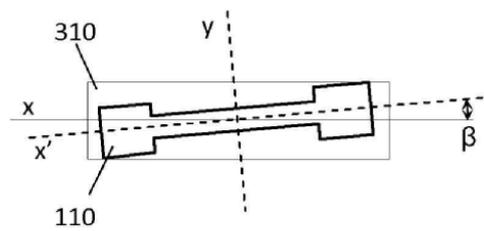


FIG. 22B

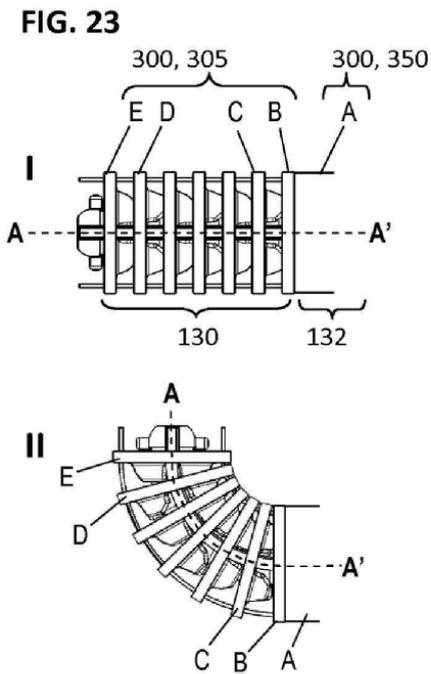
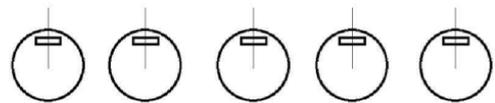
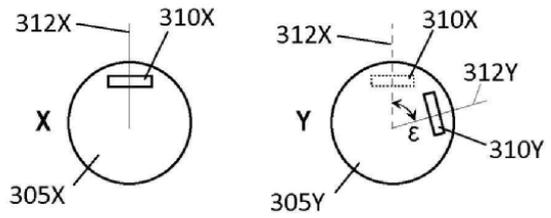
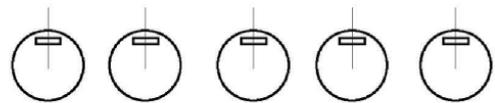


FIG. 23



I-A I-B I-C I-D I-E



II-A II-B II-C II-D II-E