

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 518 466**

51 Int. Cl.:

A61B 1/005 (2006.01)

A61B 1/008 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.06.2010 E 10728862 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.08.2014 EP 2445386**

54 Título: **Disposición de articulación**

30 Prioridad:

24.06.2009 GB 0910951

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

05.11.2014

73 Titular/es:

**IMPERIAL INNOVATIONS LIMITED (100.0%)
52 Princes Gate, South Kensington
London, Greater London SW7 2PG, GB**

72 Inventor/es:

**YANG, GUANG-ZHONG;
NOONAN, DAVID PAUL;
SHANG, JIANZHONG y
VITIELLO, VALENTINA**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 518 466 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

Disposición de articulación

La presente invención se refiere a una disposición de articulación accionable, de forma específica, aunque no exclusiva, para una articulación con dos grados de libertad. Ejemplos específicos de la aplicación de la disposición de articulación incluyen endoscopios accionables articulados.

De forma típica, la cirugía mínimamente invasiva (MIS) se lleva a cabo a través de las aberturas naturales del cuerpo o de pequeñas incisiones artificiales guiadas por dispositivos de visualización ópticos o digitales, conocidos como endoscopios. El endoscopio tradicional utiliza una serie de dobletes acromáticos para la óptica de relé. De forma más típica, los endoscopios modernos utilizan lentes mucho más largas. En combinación con lentes de alta calidad y módulos de cámara en estado sólido en miniatura, un endoscopio permite la transmisión de vídeo desde la anatomía interna del paciente a dispositivos de vídeo externos. Esto da a los cirujanos la oportunidad de visualizar de manera eficaz el interior del paciente sin provocar lesiones innecesarias. Asimismo, dependiendo de la óptica que se utiliza, la magnificación permite llevar a cabo exámenes en gran detalle.

La MIS permite conseguir objetivos clínicos con inconvenientes mínimos para los pacientes, lo que da como resultado un menor trauma en el paciente, una hospitalización más breve, una mejor precisión en el diagnóstico y un mejor resultado terapéutico. A pesar de las ventajas para los pacientes, los cirujanos deben enfrentar varios inconvenientes en la MIS, incluyendo la pérdida de percepción de profundidad y de respuesta táctil, la mayor complejidad en el control de instrumentos y un entorno de trabajo con una colaboración difícil. En la MIS también se produce una reducción en los grados de libertad de los que dispone el cirujano debido al uso de instrumentos largos, rígidos y no naturales ergonómicamente, que está asociada al "efecto de palanca", que requiere que los movimientos de la mano del cirujano sean no intuitivos.

Los desarrollos conocidos de endoscopios convencionales comprenden segmentos accionables individualmente que definen en cooperación un conducto hueco que se corresponde con el endoscopio. Debido a que las dimensiones de los endoscopios para cirugía que implican incisiones, tales como laparoscopia o artroscopia, imponen el tamaño de la incisión y, de forma general, a que es deseable mantener las incisiones en el paciente pequeñas, resulta deseable que el mecanismo de accionamiento esté dispuesto de manera que ocupe el menor volumen.

El documento WO-A-03/028547 se refiere a un endoscopio segmentado orientable que comprende múltiples segmentos interconectados por elementos de articulación, un motor que tiene un eje giratorio y un carrete.

Como elemento de seguridad, es deseable que los segmentos accionables sean móviles entre sí en caso de fallo del mecanismo de accionamiento (por ejemplo, debido a un fallo en la alimentación), de modo que el endoscopio sea flexible cuando los accionadores no están alimentados. Esto asegura la posibilidad de retirar el endoscopio de una cavidad del cuerpo independientemente de su forma, por ejemplo, en el caso de un fallo en la alimentación. Por lo tanto, es deseable que los accionadores puedan ser accionables sin alimentación. Además, es deseable que la resistencia al movimiento de los segmentos sea reducida para facilitar una fuerza de respuesta y una transmisión precisas a lo largo del endoscopio. Por estos motivos, es deseable que la fricción de los componentes de un mecanismo de accionamiento de este tipo de segmentos articulados sea reducida.

Según un aspecto de la invención, se da a conocer una disposición de articulación según la reivindicación 1.

En algunas realizaciones, la disposición de articulación incluye dos elementos de articulación asociados de forma pivotante, teniendo uno de los elementos de articulación tendones asociados al mismo de modo que el mismo es pivotante con respecto al otro elemento de articulación tirando de los tendones. Un elemento de transmisión está dispuesto alrededor del otro elemento de articulación o en el interior del mismo y está conectado a los tendones para transmitir una fuerza a través de los mismos a efectos de provocar el movimiento de los elementos de articulación entre sí. Por lo tanto, el elemento de transmisión está dispuesto para girar alrededor de un eje dispuesto en el interior del otro elemento de articulación. La disposición comprende además medios de accionamiento para accionar el elemento de transmisión a efectos de hacerlo girar alrededor del primer elemento para transmitir la fuerza.

De forma ventajosa, haciendo que el elemento de transmisión sea giratorio alrededor de un eje dispuesto en el interior de uno de los elementos de articulación, se obtiene una transmisión de fuerza con reducción de alta velocidad y que ocupa poco espacio, ya que el diámetro de una superficie accionada del elemento de transmisión es grande para un contorno de sección determinado de la disposición de articulación. Además, debido a que el propio elemento de transmisión gira alrededor o en el interior del elemento de articulación (por ejemplo, a diferencia de si lo hace junto al mismo, si se usa un simple carrete para accionar los tendones), se elimina la fricción tangencial de los tendones a lo largo de la circunferencia del elemento de accionamiento.

En algunas realizaciones, el elemento de transmisión define un carrete, incluyendo la superficie accionada o separado de la misma, y en el que los tendones se enrollan, de modo que el giro del carrete en una dirección suelta un tendón y recoge el otro tendón y el giro del carrete en la otra dirección recoge el tendón y suelta el otro tendón. Los tendones pueden tener un material con una única longitud fijado al carrete. En algunas realizaciones, la disposición comprende una disposición de guía de tendón que define un punto de inflexión para cada tendón a

5 efectos de guiar cada tendón de una dirección generalmente a lo largo del carrete a una dirección generalmente a lo largo del otro elemento de articulación hacia el elemento de articulación. La disposición de guía de tendón puede incluir al menos una polea para cada parte de tendón. La misma puede incluir dos poleas para cada tendón, de modo que el tendón cambia de dirección dos veces, lo que permite mejorar la transmisión de fuerza en algunas realizaciones. De forma ventajosa, los tendones pueden unirse al elemento de articulación mediante una unión elástica, tal como un muelle de compresión dispuesto entre un extremo de cada tendón y el elemento de articulación, al que están unidos para compensar cualquier falta de tensión por variaciones de la longitud de la trayectoria del tendón cuando la primera y segunda partes de articulación pivotan entre sí.

10 En algunas realizaciones, un extremo de cada parte de tendón está unido al segundo elemento de articulación y otro extremo de cada parte de tendón está unido al elemento de transmisión. Por lo tanto, un extremo está fijado en el elemento de transmisión y, por lo tanto, el otro extremo está fijado en el segundo elemento de articulación. En otras realizaciones, las partes de tendón están fijadas de forma deslizable al segundo elemento de articulación y un extremo de cada parte de tendón está unido al primer elemento de articulación y el otro extremo de cada parte de tendón está unido al elemento de transmisión. Por lo tanto, un extremo está fijado en el elemento de transmisión y, por lo tanto, el otro extremo está fijado en el primer elemento de articulación. La parte de tendón puede discurrir hasta el segundo elemento de articulación y a través del segundo elemento de articulación a lo largo del elemento de pivotamiento, volviendo luego al primer elemento de articulación. De esta manera, es posible multiplicar por dos la transmisión de fuerza al segundo elemento de articulación.

20 En algunas realizaciones, los puntos de inflexión definen una línea que se desvía con respecto a un plano definido por el punto de unión en el elemento de transmisión/carrete donde están unidos los tendones cuando el elemento de transmisión gira. En consecuencia, el cambio incremental en la longitud de la trayectoria cuando el elemento de transmisión gira cambia con la posición del punto de unión entre los puntos de inflexión y el cambio resultante en los lados del triángulo definido por los tres puntos. Esta variación es opuesta en dirección a la variación del cambio de la longitud de trayectoria total incremental de los tendones entre los puntos de inflexión y el segundo elemento de articulación cuando los lados de los triángulos correspondientes cambian y, por lo tanto, compensa al menos parcialmente el cambio en la longitud de la trayectoria. Además, el desplazamiento del punto de unión puede dar como resultado una conversión mejorada del par aplicado en el elemento de transmisión a la fuerza generada en el tendón (requiriendo menos par aplicado para una fuerza de tendón determinada).

30 En algunas realizaciones, la disposición de articulación define un orificio pasante cuando los dos elementos de articulación están alineados, de modo que, por ejemplo, es posible hacer pasar un instrumento quirúrgico a través del orificio. De forma ventajosa, los medios de accionamiento están fijados en algunas realizaciones a un elemento exterior de los elementos de articulación para no introducirse en el espacio formado para el orificio pasante. Opcionalmente, los medios de accionamiento pueden estar dispuestos en el interior del elemento de articulación para obtener una superficie exterior lisa del elemento de articulación.

35 En algunas realizaciones, el elemento de transmisión define una superficie dentada a lo largo al menos de parte de su circunferencia para definir un engranaje y los medios de accionamiento definen un piñón correspondiente que engrana con el engranaje. El elemento de transmisión puede extenderse alrededor de la totalidad del elemento de articulación o en el interior del mismo o solamente alrededor de una parte de su circunferencia. Asimismo, la superficie dentada puede extenderse en toda la extensión de la circunferencia del elemento de transmisión o solamente en una parte de la misma para definir un engranaje de sector.

40 En algunas realizaciones, los medios de accionamiento incluyen un motor eléctrico fijado al elemento de articulación y adyacente al elemento de transmisión para accionar el elemento de transmisión, por ejemplo, usando el piñón mencionado anteriormente. Es posible fijar un controlador a la disposición de articulación para controlar localmente los medios de accionamiento y, en algunas realizaciones, el controlador puede ser controlado mediante un bus de datos.

45 En algunas realizaciones, la disposición de articulación es tal que los elementos de articulación giran entre sí alrededor de un eje longitudinal.

50 En algunas realizaciones, una articulación comprende dos disposiciones de articulación como las descritas anteriormente montadas entre sí de modo que sus ejes de pivotamiento respectivos son perpendiculares entre sí para definir una articulación con dos grados de libertad comparable a una articulación universal. En algunas realizaciones, la articulación comprende un único grado de libertad, por ejemplo, de manera similar a la articulación de la articulación media o distal de un dedo. En algunas realizaciones, un dispositivo segmentado comprende una pluralidad de articulaciones de este tipo a efectos de definir un orificio de instrumento a través de las articulaciones a lo largo de la longitud del dispositivo, de manera que un instrumento, por ejemplo, un instrumento quirúrgico, puede pasar a través del dispositivo. Algunas realizaciones dan a conocer un endoscopio, por ejemplo, un laparoscopio u otro endoscopio, que comprende un dispositivo segmentado de este tipo. De forma ventajosa, las articulaciones individuales del dispositivo segmentado pueden ser controladas por un bus de datos convencional, que requiere un cableado mínimo a lo largo de la longitud del dispositivo.

5 En algunas realizaciones, el segundo elemento de articulación define un elemento de bloqueo de giro para fijar el
segundo elemento de articulación a otra disposición de articulación. Esto facilita un fácil montaje de dispositivos de
articulación únicos o múltiples. El elemento de bloqueo de giro puede tener elementos macho y hembra
complementarios para llevar a cabo un bloqueo con otro elemento de bloqueo de giro idéntico, maximizando la
flexibilidad en lo que respecta a la manera en la que las disposiciones de articulación pueden conectarse entre sí y
reduciendo también los costes de fabricación gracias a que es posible usar el mismo molde para el elemento de
bloqueo de giro para toda la disposición de articulación. El elemento de bloqueo de giro puede fijarse a otro
elemento de bloqueo de giro gracias a que el elemento hembra tiene una abertura que es más estrecha que la
anchura más grande del elemento macho perpendicular con respecto a la dirección tangencial del elemento de
10 bloqueo de giro.

15 Para facilitar mantener la conectividad eléctrica en la totalidad de un dispositivo segmentado montado a partir de
disposiciones de articulación como las descritas anteriormente, el segundo elemento de articulación puede incluir
uno o más contactos eléctricos para su unión de forma deslizante a contactos correspondientes en la otra
disposición de articulación cuando el elemento de bloqueo de giro está bloqueado. Para asegurar un contacto
positivo, los contactos pueden ser desviados elásticamente para su unión a contactos correspondientes en otra
disposición de articulación, por ejemplo, mediante desviación por muelle. Para facilitar el montaje cuando las
disposiciones de articulación giran entre sí para su bloqueo, los contactos pueden tener un extremo redondeado
para su unión a los contactos correspondientes en otra disposición de articulación.

20 A continuación se describen realizaciones de la invención a título de ejemplo y solamente ilustrativo, haciendo
referencia a los dibujos que se acompañan, en los que:

la Figura 1 muestra una vista en perspectiva de una articulación con dos grados de libertad accionada por
tendón;

las Figuras 2a y 2b muestran vistas en perspectiva ampliadas de una disposición de articulación inferior de la
articulación de la Figura 1;

25 la Figura 3 muestra otra vista ampliada de esta disposición de articulación, mostrando de forma detallada la
interacción entre los medios de accionamiento y un elemento de transmisión;

la Figura 4 muestra una vista superior de la disposición de articulación;

las Figuras 5 a 12 muestran elementos de transmisión y guías de tendón alternativos;

30 la Figura 13 muestra una combinación de tres elementos de articulación para formar dos articulaciones
universales asociadas;

la Figura 14 muestra un dispositivo segmentado que comprende articulaciones como las descritas a
continuación haciendo referencia a las Figuras 1 a 13;

la Figura 15 muestra un dispositivo segmentado manual;

las Figuras 16 a 18 muestran un diseño de compensación de longitud de trayectoria geométrico;

35 las Figuras 19 a 24D muestran un diseño de compensación de longitud de trayectoria específico que se
corresponde con las realizaciones de las Figuras 1 a 4;

las Figuras 25 a 30D muestran un diseño de compensación de longitud de trayectoria específico que se
corresponde con las realizaciones de las Figuras 5 a 12;

40 las Figuras 31 a 36D muestran un diseño de compensación de longitud de trayectoria específico que es una
variación del diseño de las Figuras 19 a 24;

las Figuras 37 a 42D muestran un diseño de compensación de longitud de trayectoria específico que es una
variación del diseño de las Figuras 25 a 30; y

la Figura 43 muestra un elemento de bloqueo de giro y otra disposición de guía de tendón alternativa; y

la Figura 44 muestra una disposición de articulación con un grado de libertad giratorio longitudinal.

45 Haciendo referencia a la Figura 1, una articulación 2 de tipo universal de dos dimensiones comprende dos
disposiciones 4 de articulación con un grado de libertad, comprendiendo cada una un primer elemento 6 de
articulación y un segundo elemento 8 de articulación asociados entre sí por un punto 10 de pivotamiento alrededor
del que los elementos 6, 8 de articulación pueden pivotar entre sí. Las dos disposiciones 4 están fijadas entre sí por
sus segundos elementos 8 de articulación, de modo que los ejes de pivotamiento respectivos definidos por los
50 puntos 10 de pivotamiento son perpendiculares entre sí a efectos de obtener una acción de articulación de tipo
universal con dos grados de libertad. De forma alternativa, los dos segundos elementos 8 de articulación están

dispuestos como un elemento unitario en algunas realizaciones, de modo que la articulación comprende dos primeros elementos 6 de articulación asociados a un segundo elemento 8 de articulación común que define dos ejes de pivotamiento mutuamente perpendiculares alrededor de los que los primeros elementos de articulación respectivos pueden pivotar con respecto al segundo elemento de articulación.

5 Haciendo referencia a las Figuras 2a y b, 3 y 4, un primer y un segundo tendones 12, 14 están fijados al segundo elemento de articulación de la disposición 4 de articulación. Los tendones 12, 14 están fijados al segundo elemento de articulación en posiciones en cada lado del punto 10 de pivotamiento, de modo que la tensión en el primer tendón 12 hace pivotar el segundo elemento de articulación en una dirección, por ejemplo, en el sentido de las agujas del reloj, y la tensión en el segundo tendón 14 hace pivotar el segundo elemento 8 de articulación en la otra dirección, por ejemplo, en el sentido contrario al de las agujas del reloj.

Un motor eléctrico 16 está fijado al primer elemento 6 de articulación en una parte exterior del elemento 6 de articulación. En algunas realizaciones, el motor eléctrico es un motor de corriente continua sin escobillas. El rotor del motor está conectado a un piñón 18 que engrana con una superficie dentada 20 de un elemento 22 de transmisión.

15 El elemento 22 de transmisión es generalmente cilíndrico y está dispuesto alrededor del diámetro del primer elemento 6 de articulación, de modo que el mismo es giratorio con respecto al primer elemento 6 de articulación alrededor de un eje dispuesto longitudinalmente en el interior del primer elemento 6 de articulación. El elemento 22 de transmisión está soportado en el primer elemento 6 de articulación mediante un cojinete adecuado, por ejemplo, un cojinete deslizante, tal como el definido por dos superficies recubiertas con material de baja fricción, por ejemplo, recubiertas con PTFE, cojinetes de rodillos o cojinetes de bolas en diversas realizaciones.

20 La superficie dentada del piñón 18 engrana con la superficie dentada 20, de modo que el giro del piñón 18 mediante el motor 16 provoca el giro del elemento 22 de transmisión alrededor del primer elemento 6 de articulación y con respecto al mismo. Esto forma un engranaje reductor que tiene un diámetro máximo para un diámetro determinado del primer elemento 6, reduciendo la velocidad del elemento 22 de transmisión accionado por el motor 16, con el accionamiento de los tendones 12 y 14, tal como se describe a continuación. Además, en algunas realizaciones, el piñón 18 está conectado al motor 16 por otra etapa de reducción.

25 El elemento 22 de transmisión define además un carrete 24 al que están fijados los tendones 12 y 14. En algunas realizaciones, el carrete 24 define canales respectivos para guiar los tendones 12 y 14. Los tendones son guiados alrededor del carrete desde un punto 28 de unión circunferencialmente alrededor del elemento 22 de transmisión hasta una guía 30 de tendón y, posteriormente, hasta un punto 32 de fijación en el segundo elemento 8 de articulación. Es posible aumentar la fuerza transmitida al segundo elemento de articulación reduciendo el diámetro del carrete 24, por ejemplo, haciéndolo más pequeño que el diámetro de la superficie dentada o accionada del elemento 24 de transmisión (siendo esto aplicable en todos los elementos de transmisión con una parte de carrete separada).

30 En algunas realizaciones, la superficie dentada 20 y el carrete 24 están separados axialmente a lo largo del elemento 22 de transmisión. El carrete define dos trayectorias desplazadas axialmente para los tendones 12 y 14, lo que permite el solapamiento axial de los tendones cuando los mismos son guiados desde sus puntos 28 de unión respectivos hasta sus guías 30 de tendón respectivas. Las guías 30 de tendón están fijadas al primer elemento de articulación puenteando la extensión axial del elemento de transmisión, de modo que cada tendón pasa por debajo de la guía 30 de tendón del otro tendón antes de alcanzar su propio elemento de guía.

35 Cada guía 30 de tendón define un canal para guiar el tendón 12, 14 respectivo de una dirección tangencial a lo largo del carrete a una dirección generalmente a lo largo del primer elemento 6 de articulación hacia el punto 32 de fijación en el segundo elemento 8 de articulación. Esto permite transmitir una fuerza tangencial generada mediante el giro del elemento 22 de transmisión a lo largo de los tendones 12, 14 y transformar la fuerza en una fuerza generalmente a lo largo de la dirección de los elementos de articulación guiando un cambio de dirección de los tendones 12, 14 para provocar el pivotamiento del segundo elemento 8 de articulación alrededor de su punto 10 de pivotamiento.

40 Los puntos 10 de pivotamiento, los motores 16 y los piñones 18, el elemento 22 de transmisión, las guías 30 de tendón y el punto 32 de fijación se extienden radialmente hacia fuera desde una superficie de los elementos de articulación, que define un orificio 26 pasante longitudinal que se extiende a través del primer y segundo elementos 6, 8 de articulación a lo largo de toda la longitud de la articulación 2. De forma ventajosa, esto permite el paso de un instrumento a través del orificio pasante, lo que resulta especialmente ventajoso en un dispositivo segmentado que comprende una pluralidad de articulaciones 2, descrito de forma detallada a continuación. Debido a que los elementos descritos anteriormente se extienden radialmente hacia fuera desde los elementos de articulación, el orificio pasante 26 no presenta obstáculos al paso sin complicaciones de instrumentos de este tipo u otros objetos.

45 Tal como podrá observarse, la sección máxima del orificio pasante a través de la articulación 2 se alcanza cuando la articulación está en posición alineada, mientras que el pivotamiento de los elementos de articulación entre sí forma en la práctica un conducto doblado.

Haciendo referencia a las Figuras 5 a 12, a continuación se describen realizaciones que tienen elementos de transmisión y guías de tendón alternativos. De forma específica, haciendo referencia a las Figuras 5 a 8, en algunas

realizaciones, la superficie dentada 20 del elemento 22 de transmisión también forma el carrete 24 y los tendones 12, 14 están fijados a la superficie dentada por un elemento 34 de fijación, tal como un tornillo. Los tendones 12, 14 son guiados directamente por la superficie dentada desde el elemento 34 de fijación hasta una polea 36 respectiva en cada lado del elemento 22 de transmisión. Las poleas 36 están fijadas de forma giratoria a un eje común 38 que está soportado a su vez en su posición mediante un anillo 40 que también fija el motor 16. Desde las poleas 36, los tendones 12, 14 son guiados hacia el punto 32 de fijación en cada lado del punto 10 de pivotamiento.

En algunas realizaciones, el extremo del tendón está fijado de forma elástica al punto 28 de unión y/o al punto 32 de fijación. De forma específica, en algunas realizaciones, un muelle de compresión está dispuesto entre un extremo de cada tendón 12 y 14 y los puntos 32 de fijación respectivos en el segundo elemento 8 de articulación, de modo que la tensión en los tendones 12 y 14 comprimirá el muelle de compresión respectivo. La longitud de los tendones 12 y 14 se ajusta de modo que los muelles de compresión están en una configuración parcialmente comprimida cuando el primer y segundo elementos 6 y 8 están alineados, de modo que cualquier falta de tensión en los tendones 12 y 14 cuando el primer y segundo elementos 6 y 8 de articulación pivotan entre sí es compensada por la descompresión de los muelles de compresión. Esta disposición sirve para absorber cambios pequeños en la longitud de la trayectoria de tendón cuando los elementos de articulación pivotan entre sí, manteniendo de este modo una tensión constante durante el desplazamiento de los tendones y reduciendo el juego excesivo en la articulación.

En algunas realizaciones, los tendones 12 y 14 pueden estar fijados al segundo elemento 8 de articulación mediante un muelle entre los extremos respectivos del tendón y los puntos 32 de fijación, de modo que se crea una fuerza elástica de equilibrio al estirar los muelles.

En algunas realizaciones, la unión elástica se obtiene mediante un bloque de material elástico, tal como un material de polímero, en vez de usando un muelle, o es posible que los propios tendones sean elásticos para mantener la tensión durante el pivotamiento de los elementos de articulación.

De forma específica, haciendo referencia a la Figura 8, en algunas realizaciones, el segundo elemento 8 de articulación define un orificio pasante 42 en cada esquina para alojar el tendón 12. El tendón 12 pasa a través del orificio pasante 42 y está fijado a un tapón 44 por su extremo libre. El tapón 44 y el orificio pasante 42 definen unos bordes respectivos 46, 48 enfrentados entre sí y un muelle 50 de compresión está dispuesto entre los bordes para obtener en las longitudes de trayectoria elásticas la compensación descrita anteriormente. Parte o la totalidad de los tapones 44 puede formar a su vez un orificio pasante, de modo que otro tendón 14 de otro primer elemento 6 de articulación puede pasar a través del orificio pasante y fijarse a otro tapón 44 en una parte opuesta del segundo elemento 8 de articulación.

En algunas realizaciones descritas a continuación haciendo referencia a las Figuras 9 a 11, el elemento de transmisión que rodea el primer elemento 6 de articulación (con una superficie dentada orientada hacia fuera) se ha sustituido por un elemento 22 de transmisión interno fijado de forma giratoria en el interior del primer elemento 6 de articulación y que tiene una superficie dentada 20 orientada hacia dentro y una superficie 52 de deslizamiento orientada hacia fuera dispuesta contra una superficie interior del primer elemento 6 de articulación. Para reducir la fricción, en algunas realizaciones, la superficie 52 de deslizamiento está recubierta con material de baja fricción. En otras realizaciones se usan otros medios de reducción de la fricción, tal como cojinetes de bolas o cojinetes de rodillos.

Tal como puede observarse en las Figuras 9 y 10, en las que varios componentes, incluyendo los elementos 6 de articulación, se muestran transparentes, el motor 16 está dispuesto en este caso en el interior del elemento 6 de articulación y el piñón 18 engrana con la superficie dentada 20 desde el interior. Por lo tanto, el orificio pasante 26 se llena con dos motores 16 (uno para accionar un eje único en cada extremo de la unidad de articulación) de los primeros elementos 6 de articulación, dejando un espacio reducido para el canal de instrumento, definido por un tubo hueco 54 dispuesto a través del orificio pasante 26.

Entre los primeros elementos 6 de articulación, los tubos 54 están unidos por un tubo flexible que pasa entre los primeros elementos 6 de articulación a través del segundo elemento 8 de articulación para conectar tubos adyacentes 54 (no mostrados). De forma alternativa, es posible que los tubos 54 no estén conectados entre los primeros elementos de articulación o que el canal de instrumento esté definido simplemente por el resto del orificio pasante 26 dejado por los motores.

Haciendo referencia de forma específica a la Figura 10, en algunas realizaciones, la superficie deslizante 52 de material de baja fricción se ha sustituido por cojinetes 53 de bolas o ha aumentado mediante los mismos. En algunas realizaciones, los motores 16 se mantienen en su posición mediante tornillos 55 sin cabeza.

El guiado del tendón es similar al de las realizaciones descritas anteriormente haciendo referencia a las Figuras 5 a 8 por el hecho de que los tendones son guiados alrededor de un carrete en un eje común fijado al primer elemento 6 de articulación a puntos de fijación desviados por muelle, aunque, del mismo modo que en las realizaciones descritas anteriormente haciendo referencia a las Figuras 1 a 4, el elemento 22 de transmisión define un carrete separado 24 por el que pasan los tendones en cada lado del elemento 34 de fijación hacia las poleas 36. Tal como se ha descrito anteriormente, es posible aumentar la fuerza transmitida al segundo elemento de articulación

reduciendo el diámetro del carrete 24, por ejemplo, haciéndolo más pequeño que el diámetro del elemento 24 de transmisión.

5 Aunque la disposición interna de la superficie dentada 20, los motores 16 y el piñón 18 reduce el espacio disponible para un canal de instrumento, la misma permite obtener una superficie exterior lisa para los primeros elementos 6 de articulación y permite reducir el diámetro general de la disposición de articulación, lo que puede resultar preferible en algunas aplicaciones.

10 En algunas realizaciones, haciendo referencia a la Figura 12, la superficie dentada 20 se extiende solamente alrededor de parte del elemento 22 de transmisión. En realizaciones en las que el elemento de transmisión es interno, tal como se muestra en la Figura 12, esto permite obtener un ahorro de espacio disponiendo los motores 16 en una configuración solapada con un elemento 22 de transmisión respectivo que no es accionado por el motor 16 usando el espacio liberado por la ausencia parcial de la superficie dentada 20 (interior). Esto permite realizar el primer elemento 6 de articulación de manera relativamente más compacta, tanto longitudinalmente como transversalmente.

15 En algunas realizaciones se obtienen ahorros de espacio longitudinal adicionales disponiendo el carrete 24 de forma adyacente transversalmente a la superficie dentada 20 en una parte exterior del elemento 22 de transmisión, en vez de disponiéndolo de forma adyacente longitudinalmente. Es posible acceder al elemento 34 de fijación y el mismo puede moverse libremente en una ventana 35, y los tendones pueden moverse libremente en el interior de un espacio rebajado (no mostrado) en el interior del primer elemento 6 de articulación.

20 Tal como puede observarse también en la Figura 12, en algunas realizaciones, el primer elemento 6 de articulación comprende una cavidad para alojar un microprocesador 57 para procesar datos de detector y controlar los motores 16, tal como se describe de forma más detallada a continuación.

25 Haciendo referencia a la Figura 13, una cadena de segmentos con 4 grados de libertad que comprende un primer y un segundo elementos de articulación como los descritos anteriormente comprende tres primeros elementos 6 de articulación que comprenden cada uno un motor y una disposición de accionamiento correspondiente para cada extremo del elemento 6 de articulación, de modo que cada elemento 6 de articulación controla un grado de libertad en cada uno de sus extremos. Los elementos 6 de articulación adyacentes están girados 90° entre sí para obtener grados de libertad perpendiculares en los segundos elementos 8 de articulación correspondientes.

30 En la realización mostrada en la Figura 13, los grados de libertad definidos en cada extremo de los elementos 6 de articulación son paralelos. No obstante, en realizaciones alternativas, los grados de libertad respectivos de cada elemento de articulación pueden estar girados entre sí 90 grados. En estas realizaciones, los elementos 6 de articulación están encadenados en la misma orientación para definir dos grados de libertad perpendiculares en cada segundo elemento 8 de articulación. Aunque la Figura 13 muestra una cadena de primeros elementos 6 de articulación según se ha descrito anteriormente haciendo referencia a las Figuras 9 a 11, pudiendo observarse la superficie exterior lisa de la cadena resultante, la disposición específica de los elementos 6 de articulación es fácilmente intercambiable sin pérdida de sus características generales. Asimismo, uno o más de los primeros elementos 6 de articulación puede conectarse de forma pivotante y directamente a un primer elemento de articulación adyacente para definir una articulación de dedo con 1 grado de libertad.

40 Debe observarse que se han descritos varias realizaciones haciendo referencia a las Figuras 5 a 13 que modifican los elementos de las realizaciones descritas haciendo referencia a las figuras 1 a 4, tal como el segundo elemento 8 de articulación, el elemento 22 de transmisión, la guía 30/polea 36, la compensación de trayectoria/desviación por muelle, la disposición interna o externa del motor y la disposición de accionamiento y la disposición del propio motor. Se entenderá que los elementos son en cierta medida independientes entre sí y que es posible cualquier combinación adecuada de uno o más de estos elementos descritos anteriormente para sustituir los elementos correspondientes o para complementar los elementos existentes.

45 Haciendo referencia a la Figura 14, a continuación se describe un dispositivo de endoscopio que comprende una pluralidad de articulaciones 2 como las descritas anteriormente. El dispositivo comprende una pluralidad de segmentos huecos 54, comprendiendo cada uno una articulación 2 como la descrita anteriormente en cada extremo, con dos grados de libertad indicados por la "X" en la Figura 14. El dispositivo comprende un conducto hueco flexible para el paso de un instrumento a través del conducto, a través de un espacio cerrado y a lo largo de una trayectoria tortuosa. Un dispositivo con N segmentos de este tipo tendrá 2 (N-1) grados de libertad.

50 En un extremo proximal del dispositivo un elemento 56 de interfaz proximal está conectado a su segmento adyacente 54 y comprende un orificio 58 de instrumento y una conexión 60 de datos bidireccional para transmitir datos de detector del dispositivo a una unidad 62 de control y señales de control de la unidad 62 de control al dispositivo. En algunas realizaciones, la conexión de datos es unidireccional, transmitiendo solamente señales de control.

55 En el extremo distal, el dispositivo comprende un elemento 64 extremo distal. El elemento extremo 64 define un orificio 66 a través del que un instrumento que pasa a través del interior hueco del dispositivo accede a un espacio cerrado en el que se introduce el dispositivo. El elemento 64 extremo distal también puede comprender detectores,

tal como detectores ópticos, para recoger datos del entorno del elemento extremo y suministrar datos visuales de retorno.

5 Una o más de las siguientes señales son suministradas del dispositivo a la unidad 62 de control: ángulos de articulación de cada grado de libertad de cada segmento 54, datos de posición del rotor de cada motor 16, datos representativos de ángulos de articulación, suministro de corriente para cada motor eléctrico, datos representativos de carga de articulación (en los casos en que la posición de los motores eléctricos está controlada); y cualquier otra señal de detectores adicionales presentes en el dispositivo.

10 En algunas realizaciones, cada segmento 54 incluye un procesador integrado que procesa previamente los datos de los detectores obtenidos en cada segmento y envía la orientación y la información de carga de la articulación procesadas a la unidad 62 de control a través de un bus de datos. En otras realizaciones, no todos los segmentos tienen su propio procesador, sino que solamente un segmento alternativo comprende un procesador integrado que gestiona señales detectadas y de control de dos segmentos adyacentes. De manera similar, otras realizaciones adicionales tienen un procesador integrado cada 3^{er} o 4^o segmento, etc. La unidad 62 de control también envía señales de control a cada uno de los segmentos 54. En realizaciones en las que cada segmento 54 (o un subconjunto de segmentos) comprende un procesador controlable a través de un bus de datos, las señales de control son señales de alto nivel, tal como la carga de articulación y/o la orientación de articulación deseadas para cada grado de libertad, o una representación alternativa, tal como el ángulo de los ejes de referencia como los dos grados de libertad.

20 En algunas realizaciones en las que se dispone un procesador local para cada segmento 54 (o cualquier otro segmento, etc.), los datos de transmisión y de detector y de control pasan a través de un bus de datos y solamente son necesarias líneas de alimentación además del bus de datos.

25 Para definir un dispositivo con una longitud entre 500 y 1400 mm, el dispositivo puede tener entre diez y treinta segmentos o incluso más. El conducto hueco en el interior del dispositivo puede variar entre 1 mm y 12 mm. El diámetro exterior máximo puede ser de 18 mm, preferiblemente 12 mm. Evidentemente, el dispositivo puede tener menos segmentos y/o diferentes dimensiones, por ejemplo, tal como se describe a continuación.

30 En una realización específica, se usa un motor de corriente continua con micro-escobillas con un par máximo de 10,6 mNm y una corriente máxima de 6 a 54 mA con una tensión máxima de 3 a 5 V. Un controlador integrado comprende un procesador RISC de 16 bits con 10 KB de RAM, un transformador de analógico a digital de 12 bits para procesar señales de detector, un transformador de digital a analógico de 12 bits para accionar el motor eléctrico y dos conexiones en serie UART para la comunicación con el controlador 62.

35 En algunas realizaciones, un dispositivo segmentado manual comprende una parte 68 de mango conectada por un extremo a una varilla 70 de conexión y por el otro extremo a una entrada 72 de cable para recibir un cable de datos a efectos de conectar el dispositivo manual a un procesador de datos, tal como un ordenador. La parte de mango comprende un botón 74 de control multidireccional para controlar el dispositivo. En un extremo libre, la varilla 70 de conexión está conectada a un primer elemento 6 de articulación unido a un buje 76 de unión a efectos de definir una articulación de dedo con un grado de libertad. El primer elemento 6 de articulación está conectado a otro elemento 6' de articulación mediante una articulación con 2 grados de libertad, y el otro elemento 6' de articulación está conectado a otro elemento 6'' de articulación adicional por otra articulación con dos grados de libertad, obteniéndose un total de 5 grados de libertad del dispositivo. Es posible añadir más articulaciones para aumentar el número total de grados de libertad del dispositivo. También es posible usar cualquiera de los dispositivos descritos anteriormente en una configuración maestro-esclavo, en la que la unidad de control y los efectores finales están asociados mediante control digital, a través de configuraciones por cable o inalámbricas.

45 Tal como se ha descrito con brevedad anteriormente, la geometría de la disposición de articulación provoca diferencias en la suma de longitudes de trayectoria de los tendones 12 y 14 cuando la articulación pivota hacia un lado, lo que puede provocar la aparición de juegos e inestabilidad indeseables. Una solución, tensar elásticamente los tendones, se ha descrito anteriormente, describiéndose a continuación otra solución geométrica. Se entenderá que es posible usar estas soluciones en combinación o únicamente. La geometría de la disposición de articulación y su efecto en las longitudes de trayectoria de tendón se describirán de forma detallada a continuación haciendo referencia a las Figuras 16 y 17 aunque, de forma general, la diferencia de longitudes de trayectoria se produce porque las partes de las trayectorias de tendón en cada lado de la articulación entre la disposición de guía o polea y el segundo elemento de articulación no suman una longitud de trayectoria total constante cuando la articulación pivota, de modo que uno de los tendones tendrá falta de tensión cuando la articulación pivota y un tendón se suelta a más velocidad que el cambio en la trayectoria del tendón correspondiente.

55 Cuando el punto 28 de unión de tendón en el elemento de transmisión está alineado con las poleas 36, las longitudes de trayectoria entre el punto de unión y una polea 36 respectiva en cada lado suman una longitud constante cuando el punto 28 de unión se desplaza en una trayectoria en forma de arco en un plano que contiene las poleas (proyectado en una línea recta entre las poleas en las Figuras 16 y 17). Desplazando el punto de unión con respecto a su alineación con las poleas, por ejemplo, en alejamiento con respecto al punto de pivotamiento, de modo que el mismo se desplaza en un plano desviándose con respecto a una línea que une los puntos de inflexión

definidos por las poleas, es posible obtener una diferencia de longitud de trayectoria para el tendón entre las poleas y el punto de unión que compensa al menos parcialmente la diferencia de longitudes de trayectoria entre las poleas y el segundo elemento de articulación, de modo que es posible reducir la falta de tensión y el juego en el tendón. Esto se describirá de forma detallada a continuación haciendo referencia a las Figuras 16 y 17.

- 5 En las Figuras 16 y 17, la línea en negrita representa el plano de la articulación (el segundo elemento 8 de articulación, anchura $2r_1$), mientras que la línea continua se corresponde con la longitud total del tendón que conecta el segundo elemento 8 de articulación al punto 28 de unión en el elemento de transmisión (marcado con una X). Un primer grupo de poleas superiores está colocado a una distancia h_1 debajo del plano de la articulación, con una anchura de separación $2r_2$, mientras que un segundo grupo de poleas inferiores está situado a una distancia h_0 debajo del plano de las poleas superiores, con una anchura de separación $2r_3$. Este es un caso más general de las realizaciones descritas anteriormente, en el que $h_0=0$ y $r_2 = r_3$ (el valor de h_0 no afecta al análisis posterior). El punto 28 de unión (X) del tendón en el elemento 22 de transmisión está dispuesto a una distancia h_2 debajo del plano de las poleas inferiores. La posición del eje de giro de la articulación está definida por el parámetro α , que representa la fracción de la longitud total h_1 que define la distancia entre el plano de la articulación y su eje de giro. Por lo tanto, la distancia entre el eje de giro de la articulación y la línea que conecta las poleas superiores viene dada por $h_1(1-\alpha)$. Es posible asignar valores diferentes a r_1, r_2 y r_3 .

El siguiente análisis asume que el radio de la superficie del elemento 22 de transmisión por el que pasan los tendones es r_3 . Un experto en la técnica podrá deducir fácilmente el caso más general.

- 20 La Figura 16 muestra una configuración recta de la disposición de articulación y la Figura 17 muestra la configuración de la articulación después de su giro alrededor de su eje un ángulo θ , que se corresponde con un desplazamiento d del punto de unión en la circunferencia del elemento de transmisión, en una proyección en un plano definido por las poleas perpendicular con respecto al eje de giro (el plano del papel en las Figuras 16 a 18). Las siguientes cantidades, mostradas en las Figuras 16 y 17, son útiles para definir:

$$p_1 = \sqrt{(\alpha h_1)^2 + r_1^2}$$

$$p_2 = \sqrt{h_1^2(1-\alpha)^2 + r_2^2}$$

25

También son útiles para definir el ángulo θ_0 dado por:

$$\theta_0 = \arccos\left(\frac{p_1^2 + p_2^2 - ((r_1 - r_2)^2 + h_1^2)}{2 \cdot p_1 \cdot p_2}\right)$$

De forma general, debe observarse que $p_1 > 0$ y $p_2 > 0$.

- 30 En la Figura 17, las longitudes de los tendones que conectan la articulación a las poleas superiores cambia cuando la articulación gira en el sentido de las agujas del reloj ($\theta > 0$) según:

$$L_1 = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 - 2 \cdot p_1 \cdot p_2 \cdot \cos(\theta_0 + \theta)}$$

$$L_2 = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 - 2 \cdot p_1 \cdot p_2 \cdot \cos(\theta_0 - \theta)}$$

de modo que el alargamiento correspondiente del tendón izquierdo es:

$$\frac{\partial L_1}{\partial \theta} = \frac{p_1 \cdot p_2 \cdot \sin(\theta_0 + \theta)}{\sqrt{p_1^2 + p_2^2 - 2 \cdot p_1 \cdot p_2 \cdot \cos(\theta_0 + \theta)}}$$

- 35 y el acortamiento del tendón derecho es:

$$\frac{\partial L_2}{\partial \theta} = - \frac{p_1 \cdot p_2 \cdot \sin(\theta_0 - \theta)}{\sqrt{p_1^2 + p_2^2 - 2 \cdot p_1 \cdot p_2 \cos(\theta_0 - \theta)}}$$

5 Tal como se muestra en la Figura 17, el giro de la articulación con un ángulo θ se corresponde con el giro de un ángulo γ del elemento de transmisión, que da como resultado el desplazamiento d mostrado en la figura. Las longitudes de los tendones que conectan el punto de unión en el elemento de transmisión a las poleas inferiores cambian con el giro del elemento de transmisión según:

$$s_1 = \sqrt{\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)^2 r_3^2 + h_2^2}$$

$$s_2 = \sqrt{\left(\frac{\pi}{2} + \gamma\right)^2 r_3^2 + h_2^2}$$

donde h_2 se define como una fracción de la altura h_1 a través del parámetro β ($h_2 = \beta h_1$).

10 Cuando el elemento de transmisión gira, es posible definir la relación entre θ y γ dada la geometría específica de las Figuras 16 y 17, destacándose que la longitud de trayectoria para el tendón que acciona la articulación durante el giro no cambia por definición, ya que la longitud física del tendón no cambia y el tendón de accionamiento está bajo tensión al accionar la articulación. Por ejemplo, cuando la articulación gira en el sentido de las agujas del reloj, el tendón derecho (longitud $L_2 + s_2$) acciona la articulación y la variación de L_2 es por definición igual a la variación de s_2 (es decir, $\Delta L_2 + \Delta s_2 = 0$), ya que la longitud física de los tendones es constante y el tendón derecho está tensado durante el giro en el sentido de las agujas del reloj.

15 Tal como se ha descrito anteriormente, cuando el elemento de transmisión acciona la articulación en el sentido de las agujas del reloj, la longitud de trayectoria del tendón derecho no cambia, de modo que el cambio total en la longitud de trayectoria se debe al tendón izquierdo. Para evitar la presencia de juegos, la longitud de trayectoria del tendón izquierdo también debería permanecer constante, es decir, el acortamiento de s_1 , (Δs_1) debería ser igual al alargamiento de L_1 , (ΔL_1), es decir, $\Delta s_1 + \Delta L_1 = 0$. Es necesario satisfacer una condición similar para reducir la presencia de juegos cuando el elemento de transmisión acciona la articulación en sentido contrario a las agujas del reloj y el tendón izquierdo está tensado accionando la articulación mientras la longitud de trayectoria del tendón cambia, es decir, el acortamiento de s_2 (Δs_2) y el alargamiento de L_2 (ΔL_2) deberían ser iguales ($\Delta s_2 + \Delta L_2 = 0$) para evitar la presencia de juegos. Teniendo en cuenta que la longitud de las trayectorias de tendón izquierdo y derecho es la misma en una configuración inicial, cuando $\theta = 0$ ($s_1 + L_1 = s_2 + L_2$), es posible optimizar el cambio de longitud de trayectoria, de modo que $s_1 + L_1$ sea lo más parecido posible a $s_2 + L_2$ durante cualquier giro (en el sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario) del elemento de transmisión para minimizar la presencia de juegos.

20 El desplazamiento del punto de unión de tendón dará como resultado un cambio de la longitud de trayectoria del tendón debido a la variación de s_1 y s_2 , tal como se ha descrito anteriormente. Es posible reducir la presencia de juegos ajustando los parámetros descritos anteriormente dictados por limitaciones en el diseño a un valor fijo y optimizando el resto de parámetros a efectos de minimizar una función de costes adecuada, tal como resulta bien conocido en la técnica. Ejemplos de funciones de costes a minimizar en todos los ángulos de giro para reducir la presencia de juegos consisten en la variación de la longitud de trayectoria total $L_1 + L_2 + s_1 + s_2$, $(\Delta L_1 + \Delta s_1)^2 + (\Delta L_2 + \Delta s_2)^2$, $(L_1 + s_1 - L_2 - s_2)^2$ o cualquier otra función de costes que permite obtener la diferencia entre las longitudes de trayectoria totales en cada lado de la articulación o la función de costes que se especifica a continuación.

25 A efectos de asegurar la viabilidad del mecanismo, puede ser necesario limitar el intervalo de giro del elemento de transmisión. P. ej., tal como se observa claramente en las Figuras 5 a 12, resulta evidente que el punto 34 de unión no debe poder desplazarse más allá de $\pm 90^\circ$ para asegurar una tensión adecuada de los tendones. Por ejemplo, el giro del elemento de transmisión está limitado entre $\pm 45^\circ$, mientras que la articulación gira en el intervalo de $\pm 30^\circ$. Esta limitación se tomará en consideración en la optimización descrita a continuación.

30 También es posible usar el modelo descrito de la articulación basado en los parámetros para calcular la eficiencia de transmisión de fuerza entre el motor que hace girar el elemento de transmisión y el tendón que tira del plano de la articulación. La Figura 18 muestra la configuración de articulación girada con variables relevantes con respecto a la fuerza de transmisión, siendo F la fuerza ejercida en el tendón aplicando par en el elemento de transmisión, siendo F_{in} la fuerza de entrada correspondiente transmitida por el tendón en su punto de fijación al plano de la articulación y siendo F_r la fuerza resultante que genera el par t_r alrededor del eje de pivotamiento de giro, siendo $t_r = F_r D$, donde D es la distancia del punto de fijación del tendón en el plano de la articulación al eje de pivotamiento de giro (el círculo

lleno en las figuras), que se corresponde con p_1 en las Figuras 16 y 17. En algunas realizaciones específicas, el elemento de transmisión incluye una corona y, por lo tanto, F también puede ser la fuerza de engranaje.

Según el diagrama de la Figura 18, la fuerza de entrada en el tendón es:

$$F_m = \frac{F}{\cos(\omega)}$$

5 donde:

$$\omega = \frac{\pi}{2} - \psi$$

y ψ depende del desplazamiento del elemento de transmisión a través de:

$$\psi = \arctan\left(\frac{(\pi/2 + \gamma)r_3}{h_2}\right)$$

10 A partir de estas ecuaciones, es posible observar que el $\cos(\omega)$ disminuye a medida que h_2 aumenta y, en consecuencia, es necesaria una fuerza F más pequeña generada por un par en el elemento de transmisión para obtener la misma F_m . Por lo tanto, el desplazamiento del punto de unión del tendón permite obtener una mayor fuerza de transmisión, ya que parte de la F_m (el componente vertical) se obtiene independientemente del par en el elemento de transmisión.

15 En consecuencia, en realizaciones que utilizan compensación de longitud de trayectoria como las descritas anteriormente, se dispone un elemento de posicionamiento para evitar el movimiento axial del elemento 22 de transmisión con respecto al primer elemento 8 de articulación en respuesta al componente de fuerza vertical de F_m . En algunas realizaciones, esto se consigue disponiendo un elemento de posicionamiento o borde del elemento de transmisión en un canal entrante circunferencial o ranura en la parte interior o exterior del primer elemento 8 de articulación (según el caso).

20 La fuerza resultante que hace girar la articulación está relacionada con la fuerza F_m ejercida sobre la articulación en el punto de fijación del tendón a través del ángulo ρ :

$$F_r = F_m \cos(\rho)$$

Que depende a su vez del ángulo:

$$\delta = \arccos\left(\frac{L_1^2 + p_1^2 - p_2^2}{2 \cdot L_1 \cdot p_1}\right)$$

25 a través de la relación

$$\rho = \left| \frac{\pi}{2} - \delta \right|$$

30 Se utiliza un algoritmo de optimización para hallar un diseño mecánico optimizado a efectos de minimizar la presencia de juegos (intervalo de giro no limitado en una posición angular fija como resultado de los cambios de longitud de trayectoria no compensados) y maximizar la eficiencia de la transmisión al transmitir el par motor al plano de la articulación. Es posible aplicar cualquier técnica de optimización o búsqueda, por ejemplo, tal como las comercializadas en paquetes comerciales, tal como MATLAB®.

En algunas realizaciones, los seis parámetros variables del diseño de articulación descrito anteriormente quedan recogidos en el vector $x = [r_1, r_2, r_3, \alpha, \beta, h_1]$. El acortamiento/alargamiento total de la longitud de trayectoria del tendón durante el giro de la articulación se calcula como:

$$\frac{\partial L_{tot}}{\partial \theta} = \frac{\partial (L_1 + L_2 + s_1 + s_2)}{\partial \theta} = \frac{\partial L_1}{\partial \theta} + \frac{\partial L_2}{\partial \theta} + \frac{\partial s_1}{\partial \theta} + \frac{\partial s_2}{\partial \theta}$$

y se encuentra el valor de x que minimiza su intervalo de variación en el intervalo $-30^\circ \leq \theta \leq +30^\circ$. También se fijan los valores superior e inferior limitados de x. Por lo tanto, es posible resumir la optimización tal como sigue:

$$\min_x \left\{ f(x) = \max \left(\frac{\partial L_{tot}}{\partial \theta} \right) - \min \left(\frac{\partial L_{tot}}{\partial \theta} \right) \right\} \quad x_{lb} \leq x \leq x_{ub}$$

- 5 Además, a efectos de conseguir una eficiencia de transmisión de par adecuada, se introducen las siguientes limitaciones:

$$\tau_r \geq 4.5 \text{ mNm} \quad -30^\circ \leq \theta \leq +30^\circ$$

$$\tau_r(\theta = -30^\circ) = \tau_r(\theta = +30^\circ)$$

- 10 donde τ_r es el par alrededor del punto de pivotamiento del plano de la articulación para una fuerza de engranaje $F=1\text{N}$ debida a un par aplicado en el elemento de transmisión y la última limitación asegura que la misma cantidad de par está disponible en los valores extremos del intervalo de giro de la articulación. Esto es deseable, ya que la presencia de niveles de par significativamente diferentes disponibles en diferentes desplazamientos angulares de la articulación podría dar como resultado que un dispositivo que incorpora la articulación accionada sea incapaz de llevar a cabo una elevación en voladizo en una posición y no tenga ningún problema en otra posición. Los resultados de un número de acciones de optimización se describen a continuación, haciendo referencia a las Figuras 19 a 42D, con:

$$x_{lb} = [3.5, 3.5, 3.5, 0, 0, 4]$$

y

$$x_{ub} = [5.5, 5.5, 5.5, 1, 1, 6]$$

- 20 para todos los cálculos. Se entenderá que los diseños de articulación correspondientes no representan necesariamente mínimos globales de la función de costes, de modo que los diferentes algoritmos de optimización y las diferentes condiciones de inicio pueden dar como resultado diseños diferentes. Por lo tanto, los siguientes ejemplos se incluyen solamente a efectos ilustrativos.

- 25 Haciendo referencia a las Figuras 19 a 24D, a continuación se describen resultados de optimización para un diseño limitado a $r_2 = r_3$, pudiendo variar el resto de parámetros (en correspondencia con la disposición del primer y segundo elementos de articulación, tal como se muestra en las Figuras 1 a 4). En la Figura 19 se muestra gráficamente un diseño encontrado mediante una búsqueda por optimización, siendo posible derivar fácilmente los parámetros x de diseño a partir de la misma.

- 30 La Figura 19 muestra esquemáticamente el movimiento del segundo elemento de articulación y el punto de unión de tendón en el elemento de transmisión para el giro en el sentido de las agujas del reloj de la articulación, conjuntamente con las trayectorias de tendón correspondientes, mientras que la Figura 20 muestra el movimiento del segundo elemento de articulación para el giro en el sentido contrario al de las agujas del reloj de la articulación. Durante el giro en el sentido contrario al de las agujas del reloj, un pequeño desplazamiento (con respecto al caso en el que $\beta=0$, tal como se muestra a continuación) del elemento de transmisión se produce sin que el plano de la articulación se mueva, dando como resultado un ángulo de juego correspondiente relativamente pequeño, tal como se muestra en la Figura 21, que muestra la variación de la longitud de trayectoria del tendón derecho e izquierdo (con la longitud de trayectoria $s_1 + L_1 = s_2 + L_2$ con $\theta = 0$ restada) durante el giro general en función del ángulo γ de giro del elemento de transmisión.

- 40 Tal como resulta evidente, la longitud de trayectoria del tendón derecho permanece constante durante el giro en el sentido de las agujas del reloj ($\Delta L_2 + \Delta s_2 = 0$), mientras que la longitud de trayectoria del tendón izquierdo cambia, provocando la aparición de juegos al final del intervalo de giro. Cuando el elemento de transmisión gira en el sentido contrario al de las agujas del reloj, el juego debe recuperarse antes de que el tendón izquierdo se tense nuevamente

5 y pueda accionar el giro de la articulación. Durante este periodo, la longitud de trayectoria de s_1 y s_2 cambia, mientras que la articulación no gira, de modo que L_1 y L_2 permanecen constantes. Cuando $\Delta L_1 + \Delta s_1 = 0$ empieza el giro de la articulación en el sentido contrario al de las agujas del reloj y, mientras la longitud de trayectoria del tendón izquierdo permanece constante, la longitud de trayectoria del tendón derecho cambia. Por lo tanto, el ángulo de juego se corresponde con la cantidad de giro del elemento de transmisión necesaria para alcanzar $\Delta L_1 + \Delta s_1 = 0$. A título de comparación, la Figura 21 muestra el caso optimizado y el caso con $\beta = 0$, que se corresponde con la colocación del punto de unión en un plano transversal que comprende la línea que conecta las poleas inferiores. Tal como resulta evidente, el juego se reduce aproximadamente diez veces cuando el punto de unión se desplaza.

10 La Figura 22 muestra las relaciones de alargamiento/acortamiento con respecto a L (indicada como "relación de articulación") y s (indicada como "relación de engranaje"), que están relacionadas de forma aproximadamente inversa. La Figura 23 muestra la variación en la longitud de trayectoria de tendón total $L_1 + L_2 + s_1 + s_2$ con su valor mínimo restado. La presencia de dos líneas para la relación de engranaje en la Figura 22 y para la longitud de trayectoria de tendón total en la Figura 23 se debe a la variación de s_1 y s_2 durante el giro de recuperación de juego, permaneciendo L_1 y L_2 constantes. Esta longitud de trayectoria cambia el resultado en la diferencia entre las relaciones de engranaje y la variación de longitud de trayectoria de tendón total durante el giro en el sentido de las agujas del reloj y en el sentido contrario al de las agujas del reloj.

15 Las Figuras 24A-D muestran trazos relacionados con la transmisión de fuerza en la articulación y que ilustran que, en esta disposición, la fuerza resultante F_r y el par t_r correspondiente adoptan el valor máximo en el ángulo extremo de giro, aunque el par alcanza la limitación de optimización en un punto sobre el intervalo angular del movimiento. Tal como se ha descrito anteriormente, la diferencia en la transmisión de fuerza y de par entre el giro en el sentido de las agujas del reloj y en el sentido contrario al de las agujas del reloj se debe al periodo de recuperación de juego, durante el que el giro del elemento de transmisión cambia la configuración y las longitudes de trayectoria de s_1 y s_2 , mientras que la articulación no gira, afectando de este modo a la fuerza de transmisión.

20 Haciendo referencia a las Figuras 25 a 30D, con la introducción de una limitación adicional de fijación $a = 0$, se obtienen diseños que se corresponden con el primer y segundo elementos de articulación de las Figuras 5 a 11. En este caso, $a = 0$ y $r_2 = r_3$. En la Figura 25 se muestra gráficamente un diseño obtenido mediante una búsqueda de optimización, siendo posible derivar fácilmente los parámetros x de diseño a partir de la misma.

25 Las Figuras 25 a 30D (que se corresponden con las Figuras 19 a 24D) muestran los resultados para este grupo de parámetros. Tal como resulta evidente, el ángulo de juego es algo más grande, aunque sigue siendo significativamente reducido en comparación con el caso con $\beta = 0$. La eficiencia de la transmisión de fuerza y el par resultante aumentan y el par t_r no alcanza el valor de limitación.

30 Haciendo referencia a las Figuras 31 a 36D, la configuración permite el cambio de a y elimina las limitaciones en r_2 y r_3 . En la Figura 31 se muestra gráficamente un diseño obtenido mediante una búsqueda de optimización, siendo posible derivar fácilmente los parámetros x de diseño a partir de la misma.

35 Las Figuras 31 a 36D muestran los resultados correspondientes (que se corresponden con las Figuras 19 a 24D). En comparación con el diseño descrito haciendo referencia a las Figuras 19 a 24D, los ángulos de juego son similares y la reducción con respecto al caso $\beta = 0$ es nuevamente de un factor aproximado de 10. La eficiencia de la transmisión de fuerza es asimismo similar.

40 Haciendo referencia a las Figuras 37 a 42D, se presenta un diseño con $a = 0$, aunque permitiendo la variación libre de r_2 y r_3 . En la Figura 37 se muestra gráficamente un diseño obtenido mediante una búsqueda de optimización, siendo posible derivar fácilmente los parámetros x de diseño a partir de la misma.

45 Las Figuras 37 a 42D muestran los resultados correspondientes (que se corresponden con las Figuras 19 a 24D). En comparación con el diseño descrito anteriormente haciendo referencia a las Figuras 25 a 30D, el ángulo de juego se reduce, mientras que el perfil de par presenta una eficiencia de transmisión ligeramente reducida.

50 Aunque según la anterior descripción es posible optimizar los parámetros libres del diseño (al menos β , aunque también uno o más de los parámetros restantes) a efectos de obtener una reducción de juego óptima para un diseño determinado, es importante destacar que cualquier ajuste de $\beta > 0$ permitirá obtener cierto grado de compensación de longitud de trayectoria y, de este modo, de reducción de juego. Igualmente, aunque el diseño de las Figuras 16 y 17 permite disponer las poleas inferiores (las más cercanas al punto de unión en la Figura 16) entre el punto de unión de tendón y el plano de la articulación, también sería posible obtener compensación de longitud de trayectoria disponiendo las poleas inferiores en el lado opuesto del punto de unión para que el punto de unión quede dispuesto entre las poleas inferiores y el plano de la articulación. En la medida en que el plano de movimiento del punto de unión cuando el elemento de transmisión gira no incluye la línea que une las poleas inferiores (o, de forma más precisa, los puntos de inflexión de los tendones), es posible conseguir cierto grado de compensación de longitud de trayectoria.

55 Se entenderá que la anterior descripción de las realizaciones de la invención se ha realizado a título ilustrativo y que el experto en la técnica deducirá numerosas alteraciones o modificaciones y/o yuxtaposiciones de los elementos

descritos anteriormente, pretendiéndose que todas ellas estén incluidas en el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

Por ejemplo, el elemento de transmisión 22, aunque se ha representado extendiéndose totalmente alrededor del primer elemento 6 de articulación o en el interior del mismo, puede extenderse sólo parcialmente alrededor o en el interior del primer elemento 6 de articulación, siempre que el mismo permanezca fijado giratoriamente al mismo. Asimismo, se entenderá que los tendones pueden comprender una amplia variedad de filamentos, hilos, alambres, cadenas, cables, etc., pudiendo estar hecho cualquiera de los mismos de varios materiales, tal como metales, por ejemplo, acero inoxidable, polímeros, por ejemplo, plásticos y nilón, etc. Los tendones pueden estar dispuestos como partes de tendón individuales de cualquiera de estos materiales o como partes de tendón con una única longitud de cualquiera de estos materiales. En este último caso, la longitud de material está fijada de manera fija al elemento de transmisión para definir las dos partes de tendón. El elemento de transmisión puede ser accionado de manera diferente a hacerlo con engranajes, por ejemplo, usando una disposición de accionamiento de correa o cable en la que el elemento de transmisión y el motor están conectados por una correa o cable.

Haciendo referencia a la Figura 43, a continuación se describe un elemento de bloqueo de giro para interconectar disposiciones de articulación o segmentos de dispositivo por sus segundos elementos de articulación respectivos y una guía de tendón alternativa que son aplicables a todas las realizaciones descritas anteriormente.

En lo que respecta al guiado del tendón, la guía de tendón alternativa dobla en la práctica el tendón para aumentar la fuerza que puede ser transmitida en un factor de dos. Con tal fin, cada parte 12, 14 de tendón está unida por un extremo mediante un elemento 34 de fijación al carrete 24 (o la longitud del tendón está unida al carrete 24 por su parte intermedia mediante el elemento 34 de fijación), discurriendo a partir de allí a través de una polea 36, y discurriendo a continuación longitudinalmente a lo largo de la disposición de articulación hasta un orificio pasante 80 en el segundo elemento 8 de articulación. A partir de allí, el tendón es guiado a través del segundo elemento 8 de articulación a lo largo del punto de pivotamiento hasta otro orificio pasante 81 en el mismo lado del punto de pivotamiento que el orificio pasante 80, y de allí longitudinalmente hacia atrás, hacia el primer elemento de articulación, en el que el tendón está fijado en una relación fija con respecto al primer elemento de articulación en un punto 82 de fijación. Se entenderá que no es necesario que el tendón discurra recto entre los orificios pasantes 80 y 81, sino que puede seguir una trayectoria curvada para adaptarse a elementos del segundo elemento 8 de articulación. Debido a que la fuerza de tracción se comparte en este caso entre la polea 36 y el punto 82 de unión, la fuerza que es posible aplicar se dobla (o, desde un punto de vista energético, la misma distancia recorrida por el elemento 34 de fijación se corresponde en este caso con la mitad de la distancia recorrida por los orificios pasantes 80, 81, permitiendo obtener una reducción de velocidad y, de este modo, un aumento de fuerza correspondiente).

El segundo elemento de articulación está dotado de un elemento 84 de bloqueo de giro dispuesto de modo que, cuando los segundos medios 8 de articulación contactan entre sí, los elementos de bloqueo de giro respectivos pueden encajar entre sí de forma deslizante y quedar unidos de forma bloqueada haciendo girar las disposiciones de articulación respectivas entre sí. Con tal fin, el elemento 84 de bloqueo de giro comprende un elemento macho 86 en forma de gancho radialmente opuesto con forma redonda adaptado para su encaje en unos elementos hembra correspondientes en la otra disposición de articulación. El propio elemento 84 de bloqueo de giro comprende los mismos elementos hembra 88, de modo que es posible unir entre sí elementos de bloqueo de giro con una forma idéntica, permitiendo de esta manera la máxima flexibilidad en disposiciones de articulación que pueden disponerse juntas entre sí.

El elemento macho 86 está conformado para ser complementario con respecto al elemento hembra 88, de modo que un elemento macho queda unido de manera segura en el interior de un elemento hembra una vez los elementos de bloqueo de giro han girado entre sí para su bloqueo. Con tal fin, el elemento hembra 88 define una abertura para alojar el elemento macho 86. La abertura es más estrecha que la anchura transversal más grande del elemento macho 86, es decir, la anchura más grande del elemento macho 86 en una dirección perpendicular con respecto a una dirección tangencial en la que el elemento macho se mueve en el bloqueo por giro.

Para establecer una interconexión eléctrica entre las disposiciones de articulación, se dispone un elemento 90 de contacto alrededor del elemento 84 de bloqueo de giro y que comprende una placa anular 92 que soporta una pluralidad de contactos 94 desviados por muelle para su unión a un contacto correspondiente en otra disposición de articulación. Los contactos tienen un extremo libre redondo (y, de hecho, pueden tener una forma de bola parcial o totalmente) que, además de la desviación por muelle, facilita un contacto seguro en su posición entre contactos respectivos mediante un bloqueo de giro, permitiendo al mismo tiempo el paso de los contactos deslizando entre sí durante el bloqueo por giro. Los contactos pueden establecerse entre contactos correspondientes idénticos, es decir, los contactos en ambas disposiciones de articulación se unen gracias a que el elemento 84 de bloqueo de giro está configurado de la misma manera, o los contactos en una de las placas 94 de contacto anulares pueden estar conformados simplemente como plataformas de contacto fijas.

Se entenderá que el guiado de los tendones y los elementos de bloqueo/contacto descritos recientemente haciendo referencia a la Figura 43 son independientes entre sí y pueden aplicarse por separado o de forma combinada en cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente o a continuación.

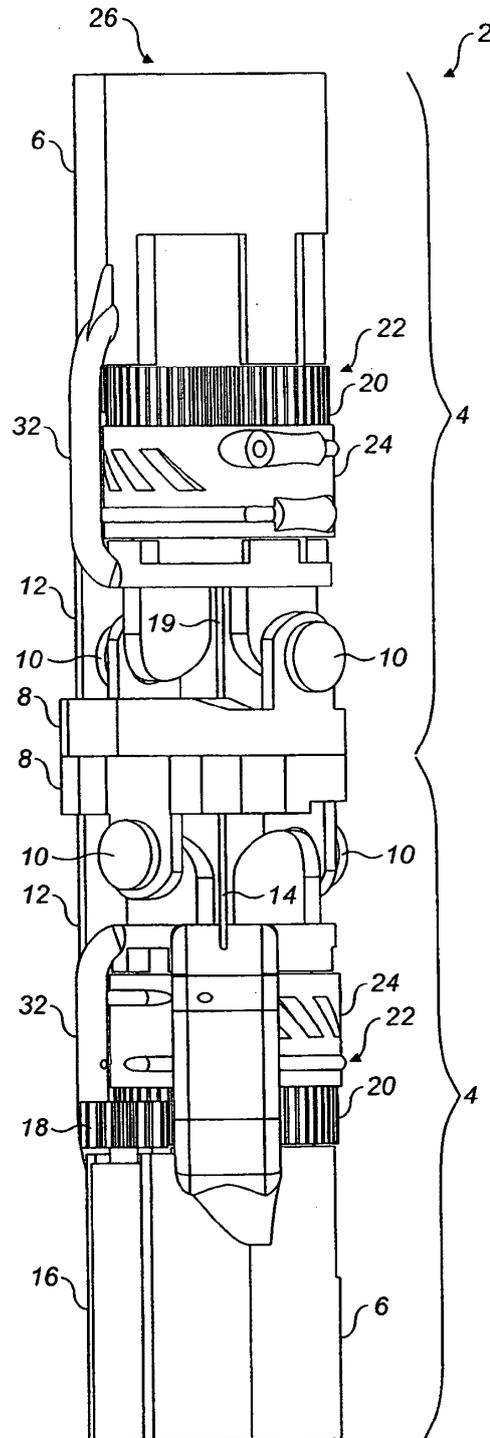
Haciendo referencia a la Figura 44, la presente invención no se limita a articulaciones que utilizan tendones tal como se ha descrito anteriormente. En algunas realizaciones, el elemento 22 de transmisión define un grado de libertad giratorio alrededor de un eje longitudinal de la disposición de articulación resultante, obteniéndose no obstante en esta realización también las mismas ventajas relacionadas con el ahorro de espacio y la disposición de reducción de alta velocidad del elemento de transmisión. En estas realizaciones, el elemento 22 de transmisión está conectado directamente a una pieza 78 de conexión conectada a otro elemento 6 de articulación que, en algunas realizaciones, está conectado de forma pivotante a la pieza 78 de conexión, por ejemplo, mediante un segundo elemento 8 de articulación conectado de forma fija al elemento 78 de conexión. En algunas realizaciones, el elemento 22 de transmisión, la pieza 78 de conexión y el segundo elemento 8 de articulación pueden estar conformados como una pieza unitaria. En algunas realizaciones, dichas articulaciones giratorias se incorporan en los dispositivos de múltiples segmentos descritos anteriormente y, en algunas realizaciones, incluyen elementos de bloqueo de giro y disposiciones de contacto eléctrico como los descritos anteriormente para su asociación a otros segmentos.

Aunque algunas realizaciones de la invención se han descrito haciendo referencia a endoscopios de uso médico, se entenderá que la invención no se limita a los mismos, sino que es posible su aplicación en cualquier endoscopio y dispositivo articulado, hueco o no hueco.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Disposición (4) de articulación que incluye un primer elemento (6) de articulación, un elemento (22) de transmisión y medios (16) de accionamiento asociados al primer elemento de articulación y un segundo elemento (8) de articulación asociado de forma móvil al primer elemento de articulación, en la que el elemento de transmisión está dispuesto al menos parcialmente alrededor de una superficie interior del primer elemento de articulación o contra la misma y es accionable por los medios de accionamiento para girar alrededor de un eje dispuesto longitudinalmente en el interior del primer elemento de articulación para provocar el movimiento del primer y segundo elementos de articulación entre sí.
- 10 2. Disposición de articulación según la reivindicación 1, en la que el primer elemento de articulación está asociado de forma pivotante al segundo elemento de articulación mediante un elemento de pivotamiento y la disposición de articulación comprende una primera y segunda partes (12, 14) de tendón fijadas al segundo elemento de articulación en cada lado del elemento de pivotamiento, estando dispuesto el elemento de transmisión para transmitir una fuerza a la primera y segunda partes de tendón a efectos de provocar el movimiento del segundo elemento de articulación con respecto al primer elemento de articulación.
- 15 3. Disposición de articulación según la reivindicación 2, en la que el elemento de transmisión define un carrete (24) en el que se enrollan el primer y segundo tendones, de modo que el giro del carrete en una dirección suelta la primera parte de tendón y recoge la segunda parte de tendón y el giro del carrete en la otra dirección suelta la segunda parte de tendón y recoge la primera parte de tendón.
- 20 4. Disposición de articulación según la reivindicación 3, que incluye una disposición de guía de tendón que define un punto de inflexión para cada parte de tendón a efectos de guiar cada parte de tendón de una dirección generalmente a lo largo del carrete a una dirección generalmente a lo largo del primer elemento de articulación en alejamiento con respecto al carrete y al elemento de transmisión.
- 25 5. Disposición de articulación según la reivindicación 4, en la que un punto (28) de unión en el que la primera y segunda partes de tendón están fijadas al elemento de transmisión se desvía con respecto a una línea definida por los puntos de inflexión cuando el elemento de transmisión gira.
6. Disposición de articulación según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en la que las partes de tendón están fijadas de forma deslizante al segundo elemento de articulación y un extremo de cada parte de tendón está unido al primer elemento de articulación y otro extremo de cada parte de tendón está unido al elemento de transmisión.
- 30 7. Disposición de articulación según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que define un orificio pasante (42) cuando el primer y segundo elementos de articulación están alineados.
8. Elemento de articulación según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el elemento de transmisión define una superficie dentada (20) a lo largo al menos de parte de su circunferencia para definir un engranaje y los medios de accionamiento incluyen un piñón que engrana con el engranaje.
- 35 9. Disposición de articulación según la reivindicación 8, dependiendo de la reivindicación 2, en la que las partes de tendón están fijadas al elemento de transmisión en contacto con una superficie adyacente a la superficie dentada.
- 40 10. Disposición de articulación según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 9 y una disposición de articulación adicional según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 9, estando montadas entre sí la disposición de articulación y la disposición de articulación adicional en segundos elementos de articulación respectivos o comprendiendo un segundo elemento de articulación común de modo que un eje de pivotamiento de la disposición de articulación es perpendicular con respecto a un eje de pivotamiento de la disposición de articulación adicional para definir una articulación con dos grados de libertad.
- 45 11. Disposición de articulación según la reivindicación 1, en la que el segundo elemento de articulación es giratorio alrededor del eje y está fijado al elemento de transmisión para moverse con el elemento de transmisión.
12. Disposición de articulación según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que los medios de accionamiento están dispuestos en el interior del primer elemento de articulación.
13. Disposición de articulación según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, definiendo el segundo elemento de articulación un elemento de bloqueo de giro para fijar el segundo elemento de articulación a otra disposición de articulación haciendo girar las disposiciones de articulación entre sí.
- 50 14. Disposición de articulación según la reivindicación 13, incluyendo el segundo elemento de articulación contactos eléctricos para su unión de forma deslizante a contactos correspondientes en la otra disposición de articulación cuando el elemento de bloqueo de giro está bloqueado.
15. Dispositivo segmentado que comprende una pluralidad de disposiciones de articulación según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

16. Dispositivo segmentado según la reivindicación 15, en el que las articulaciones están dispuestas entre sí para definir un orificio de instrumento a través de las articulaciones para el paso de un instrumento a través del dispositivo.
17. Endoscopio que comprende un dispositivo segmentado según la reivindicación 15 o la reivindicación 16.
- 5 18. Herramienta quirúrgica para cirugía mínimamente invasiva que comprende un dispositivo segmentado según la reivindicación 15 o la reivindicación 16.



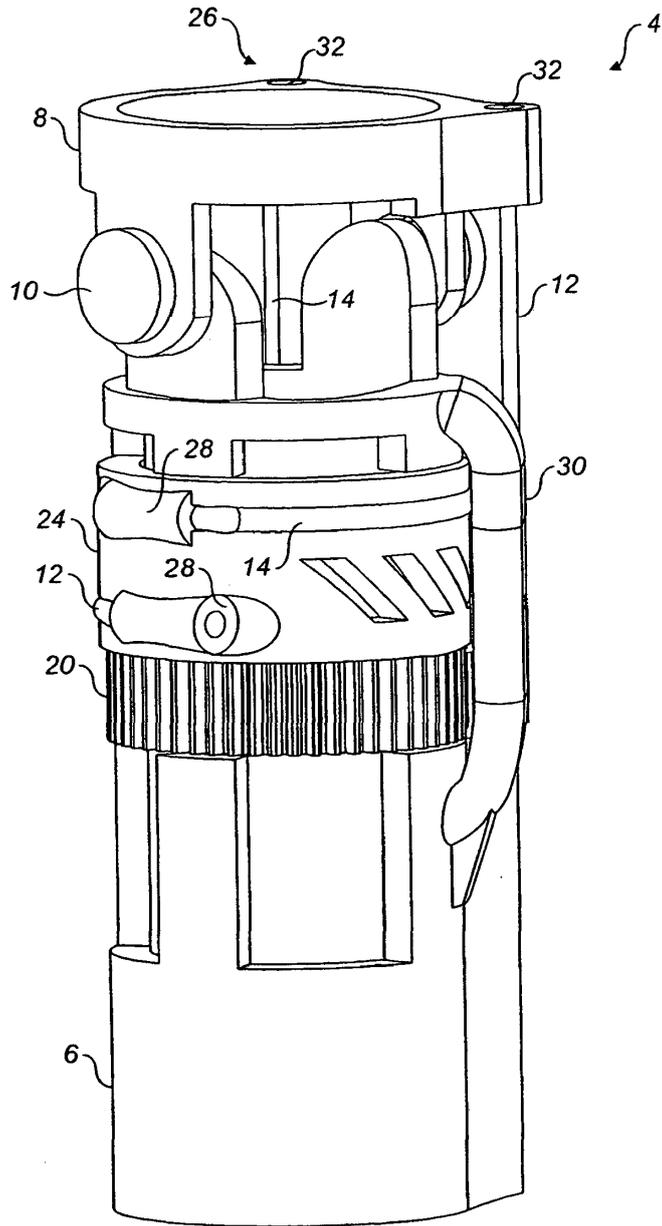


FIG. 2A

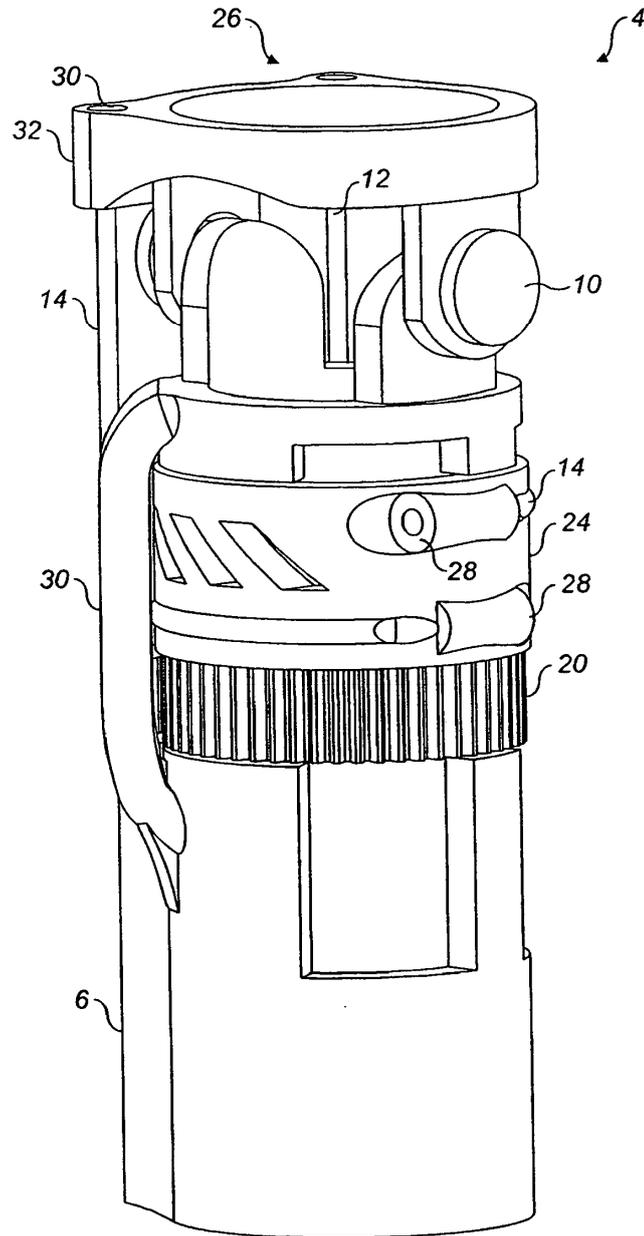


FIG. 2B

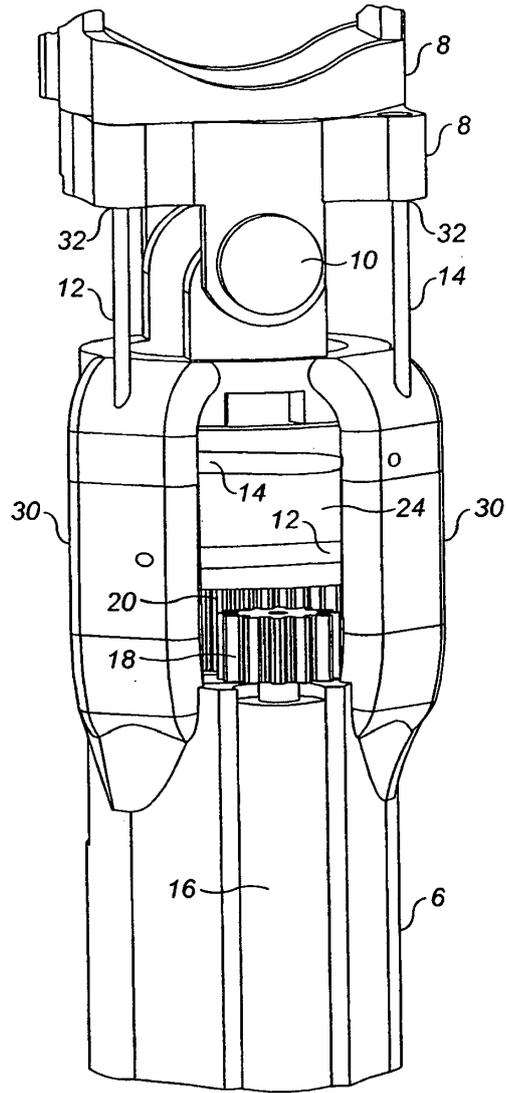


FIG. 3

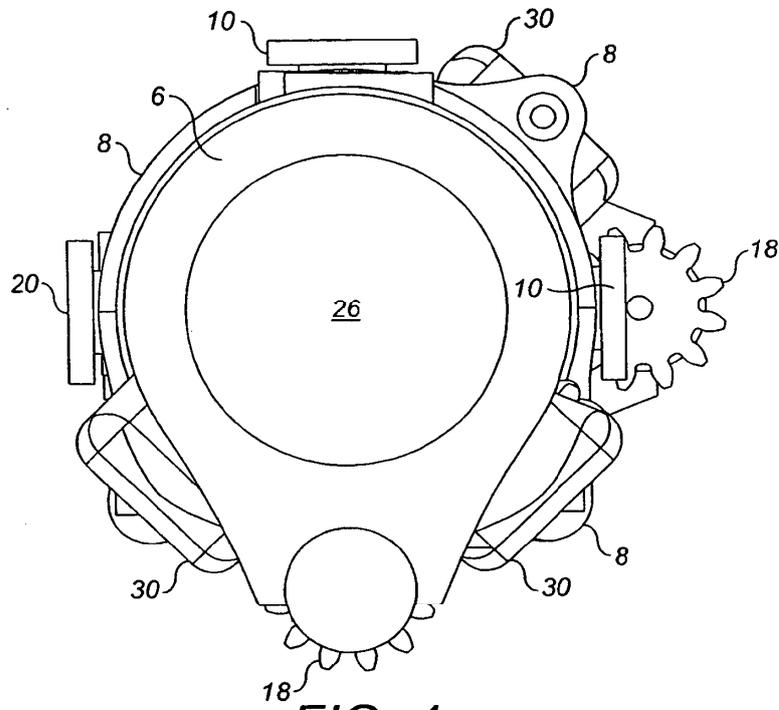


FIG. 4

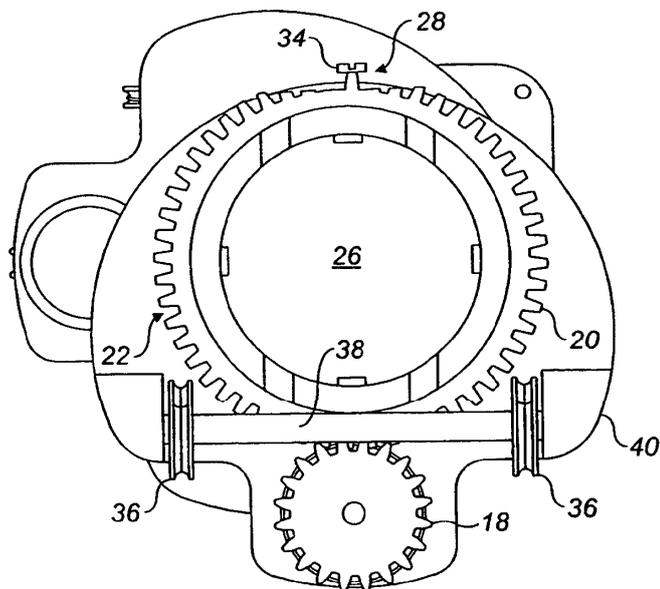


FIG. 5

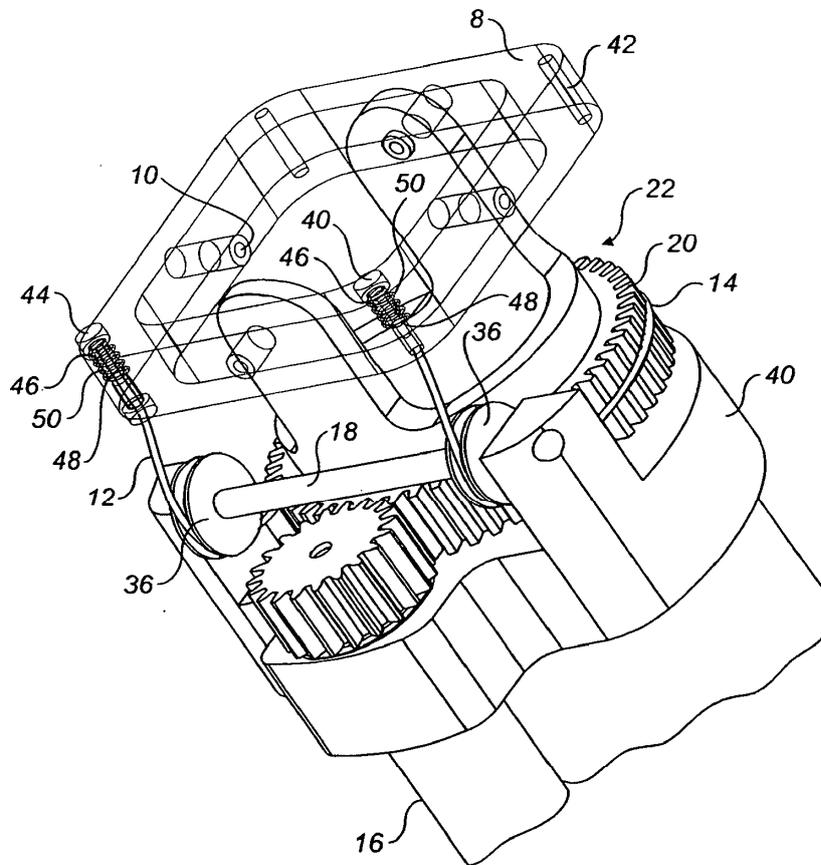


FIG. 8

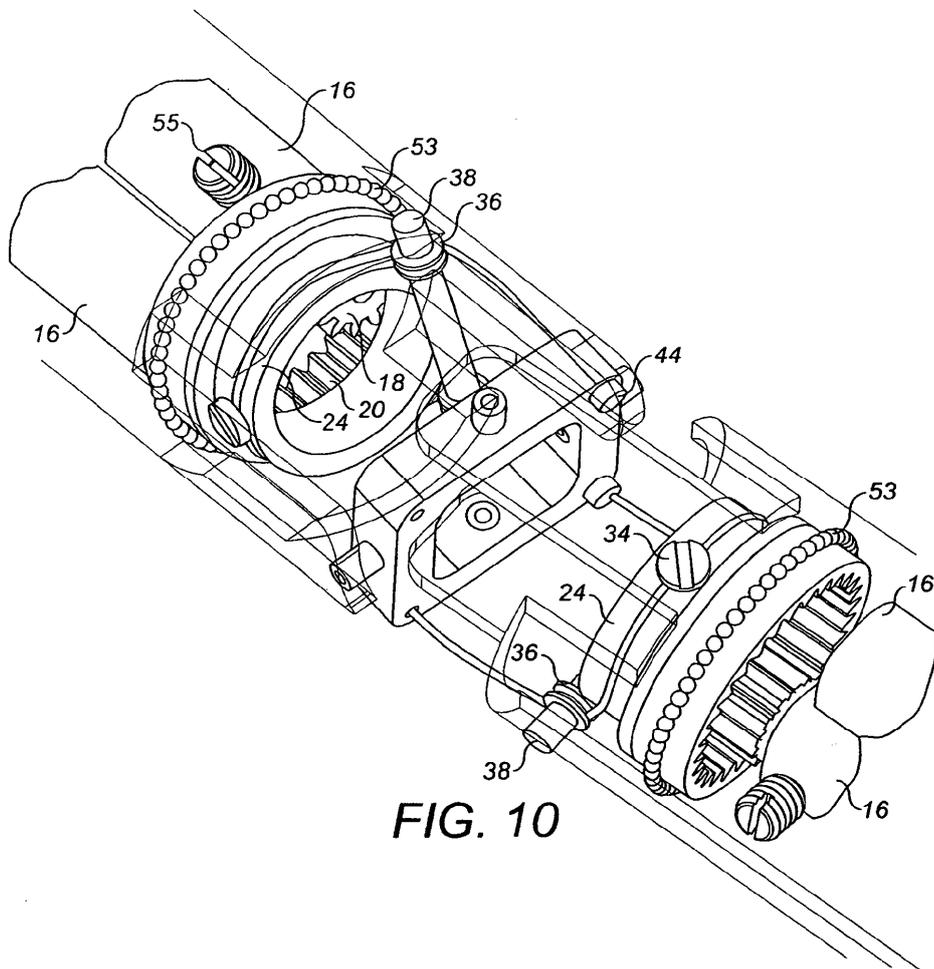


FIG. 10

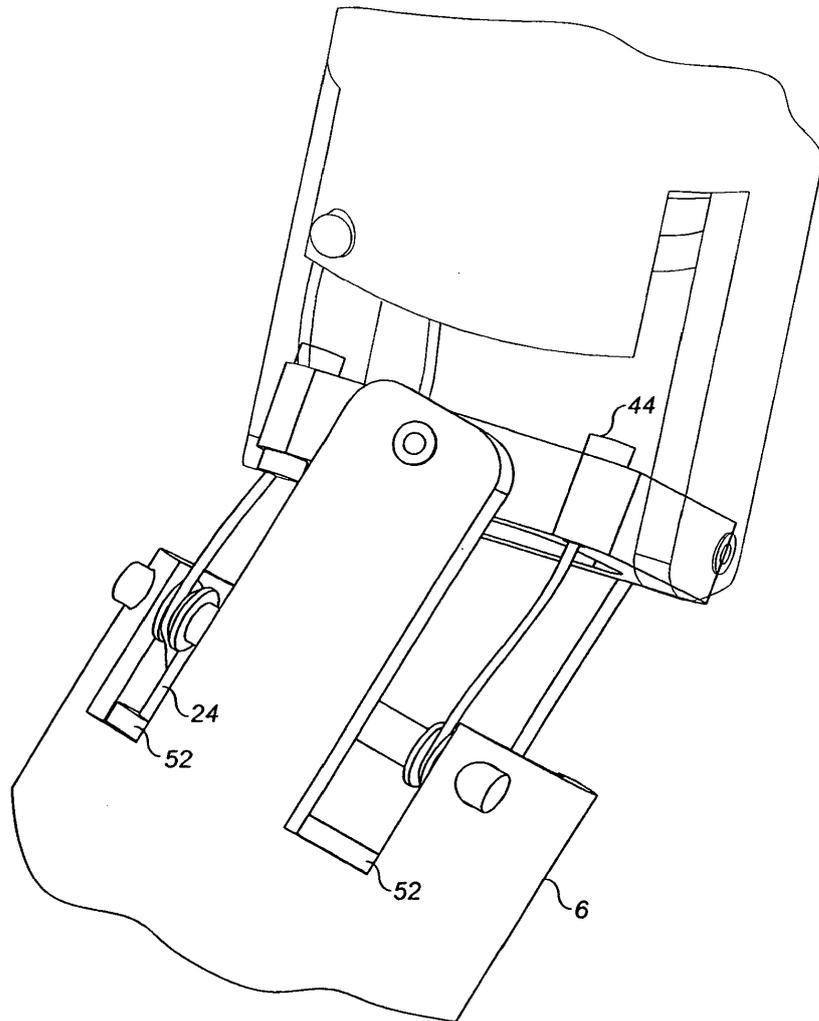


FIG. 11

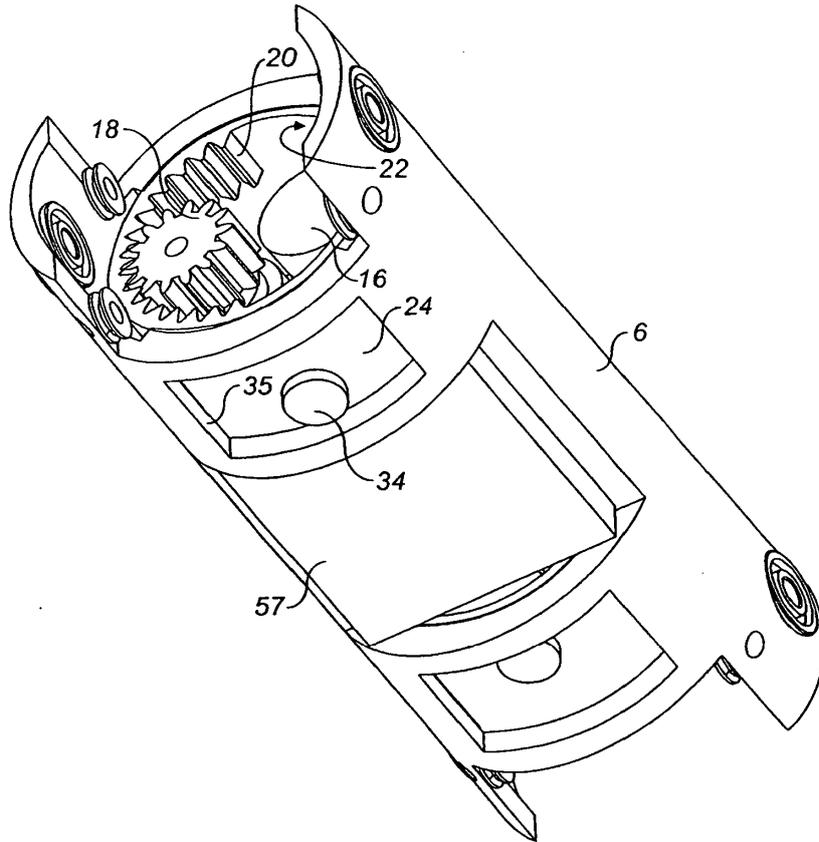


FIG. 12

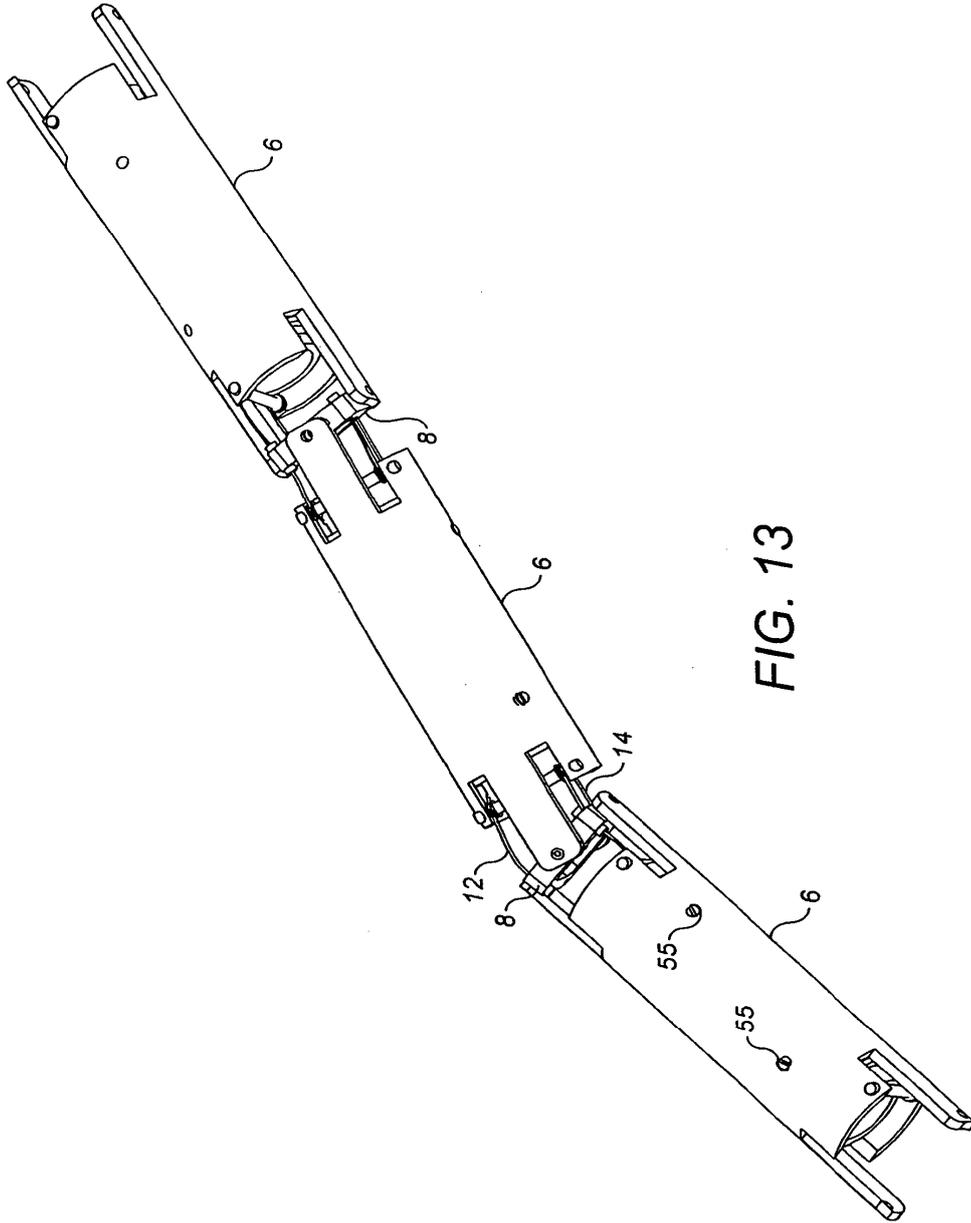


FIG. 13

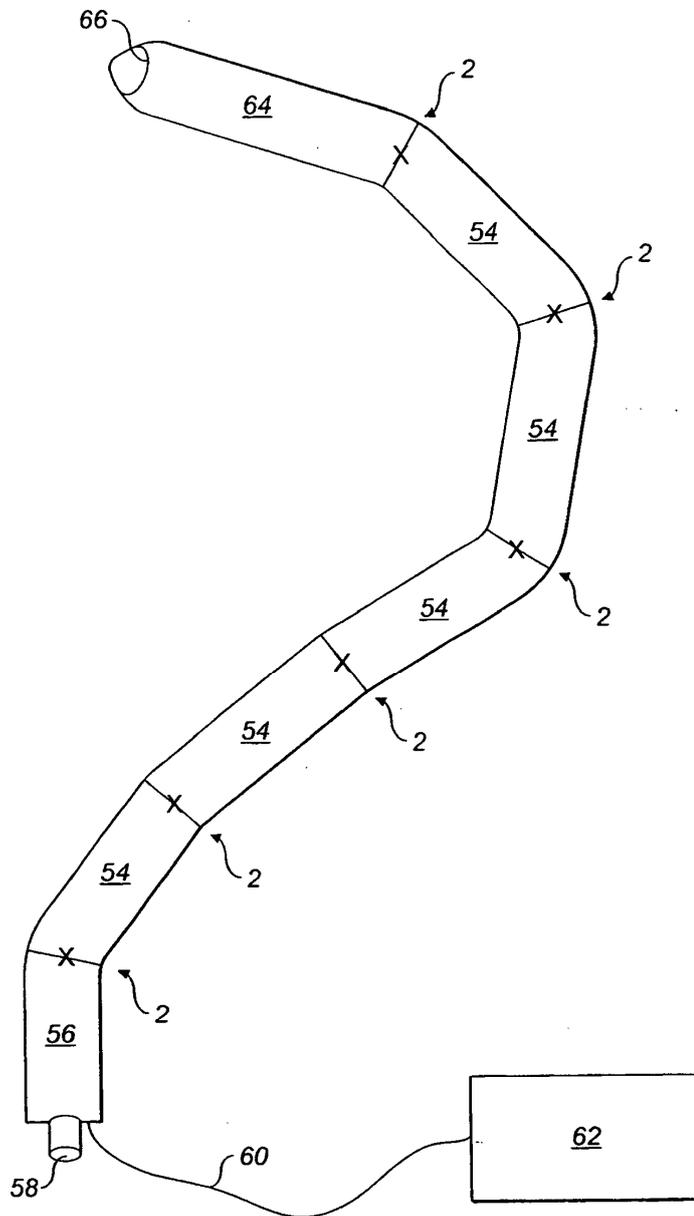


FIG. 14

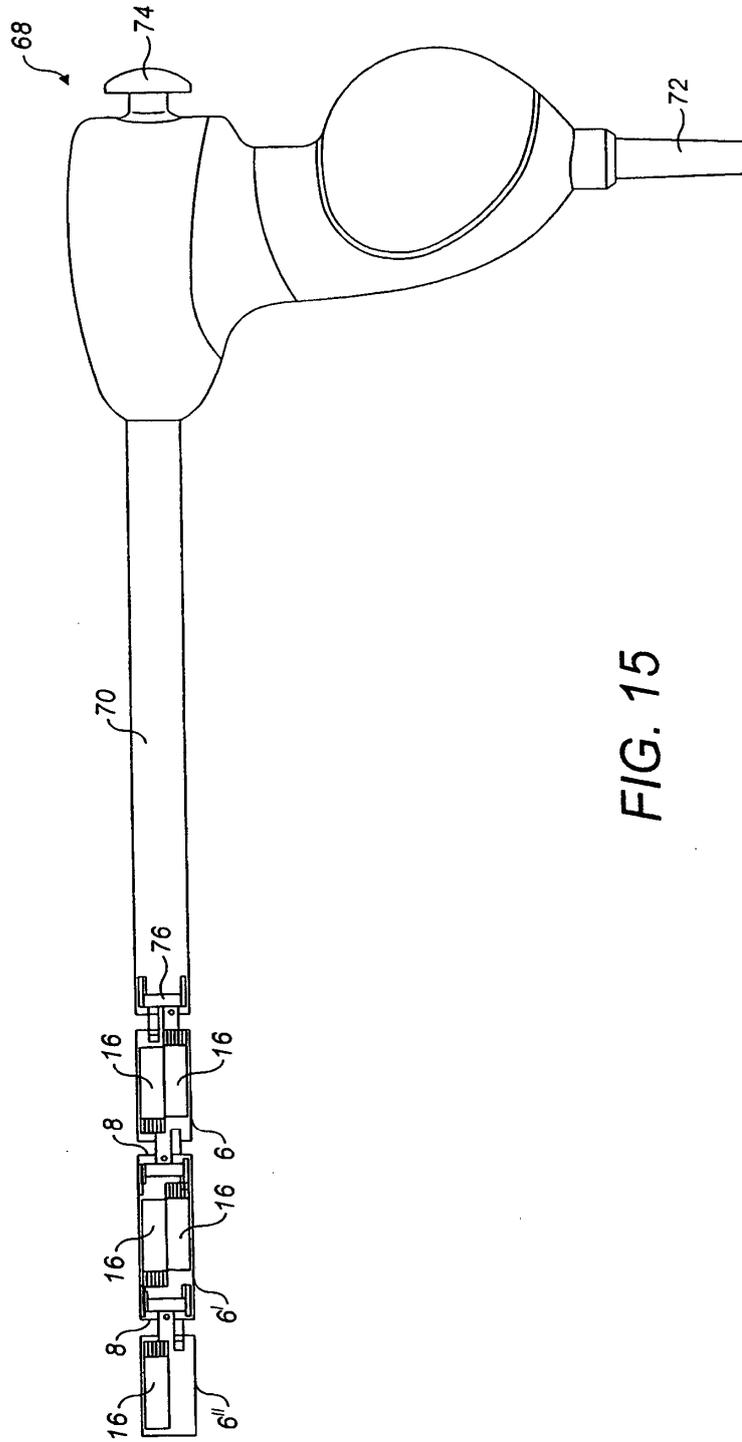


FIG. 15

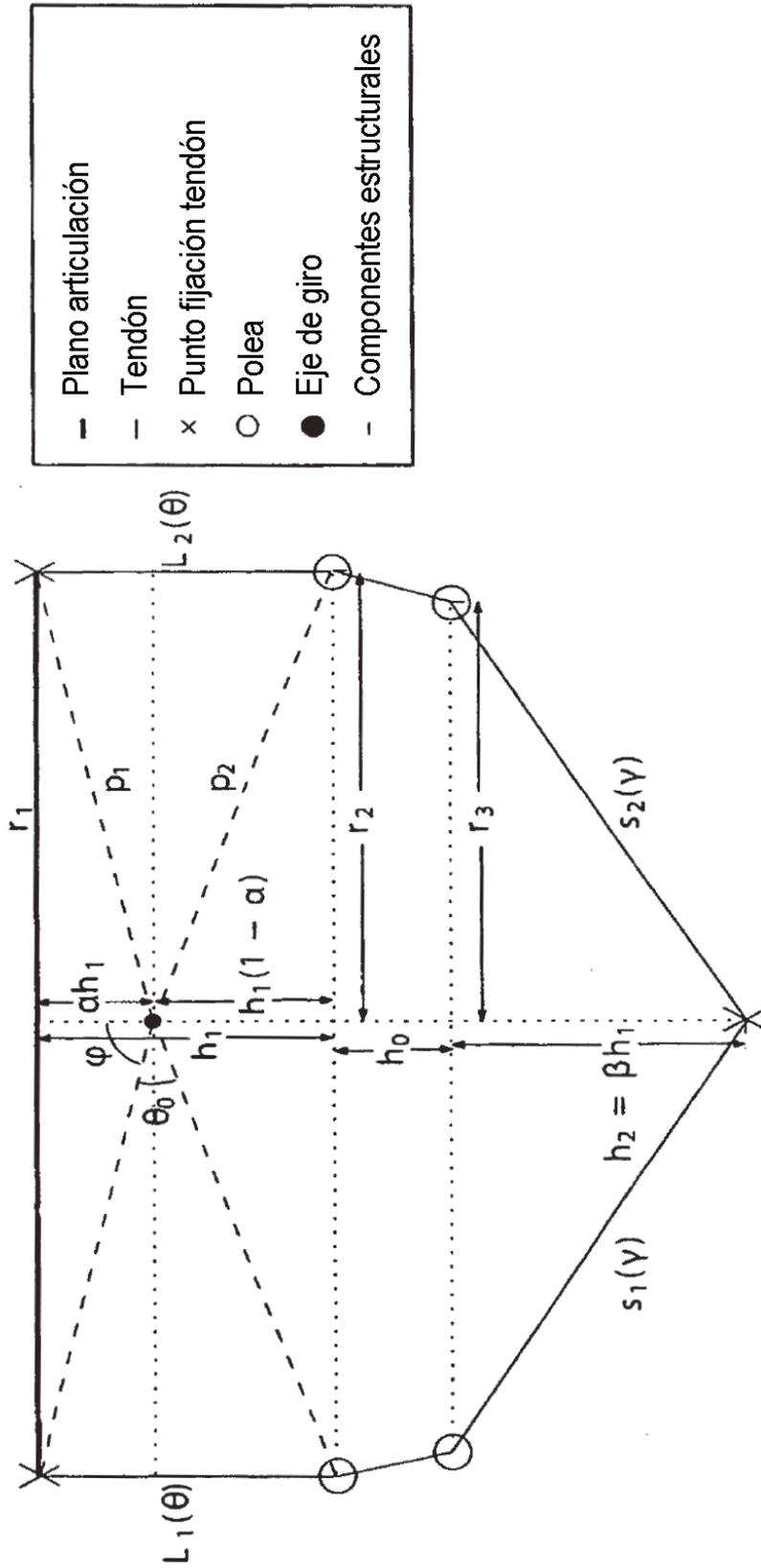


FIG. 16

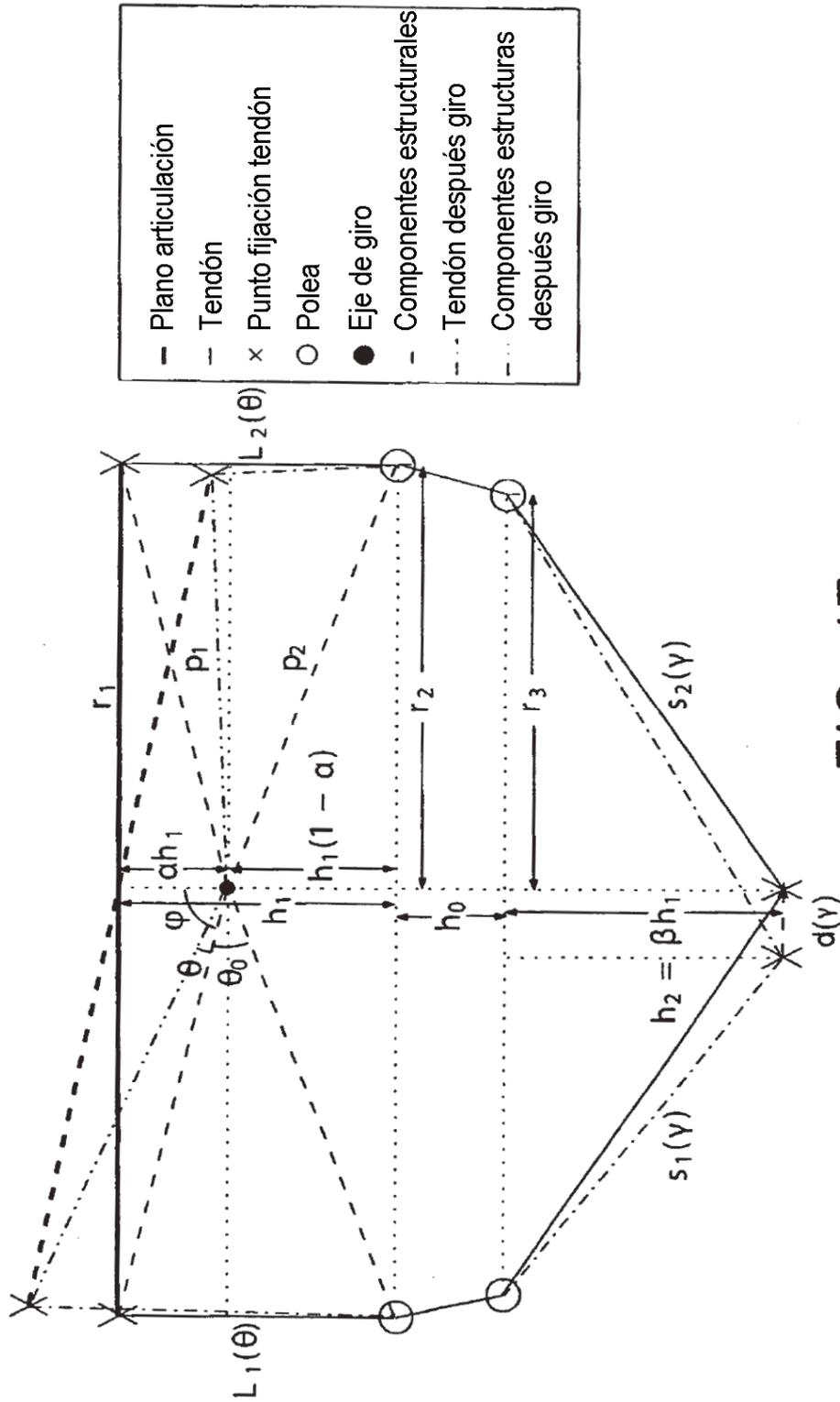


FIG. 17

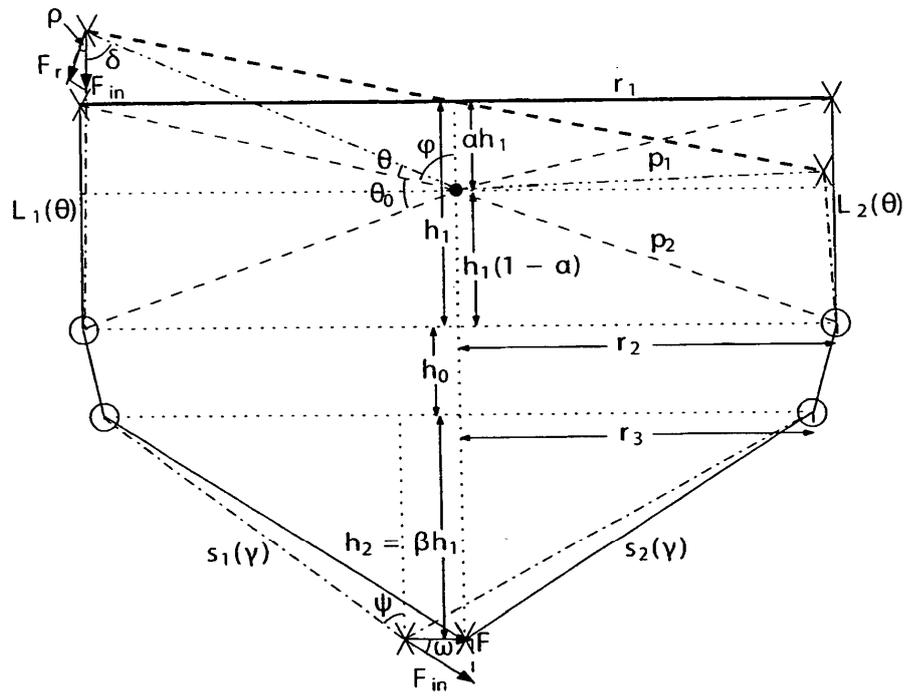


FIG. 18

Trazo de configuración de articulación real durante giro en sentido agujas reloj

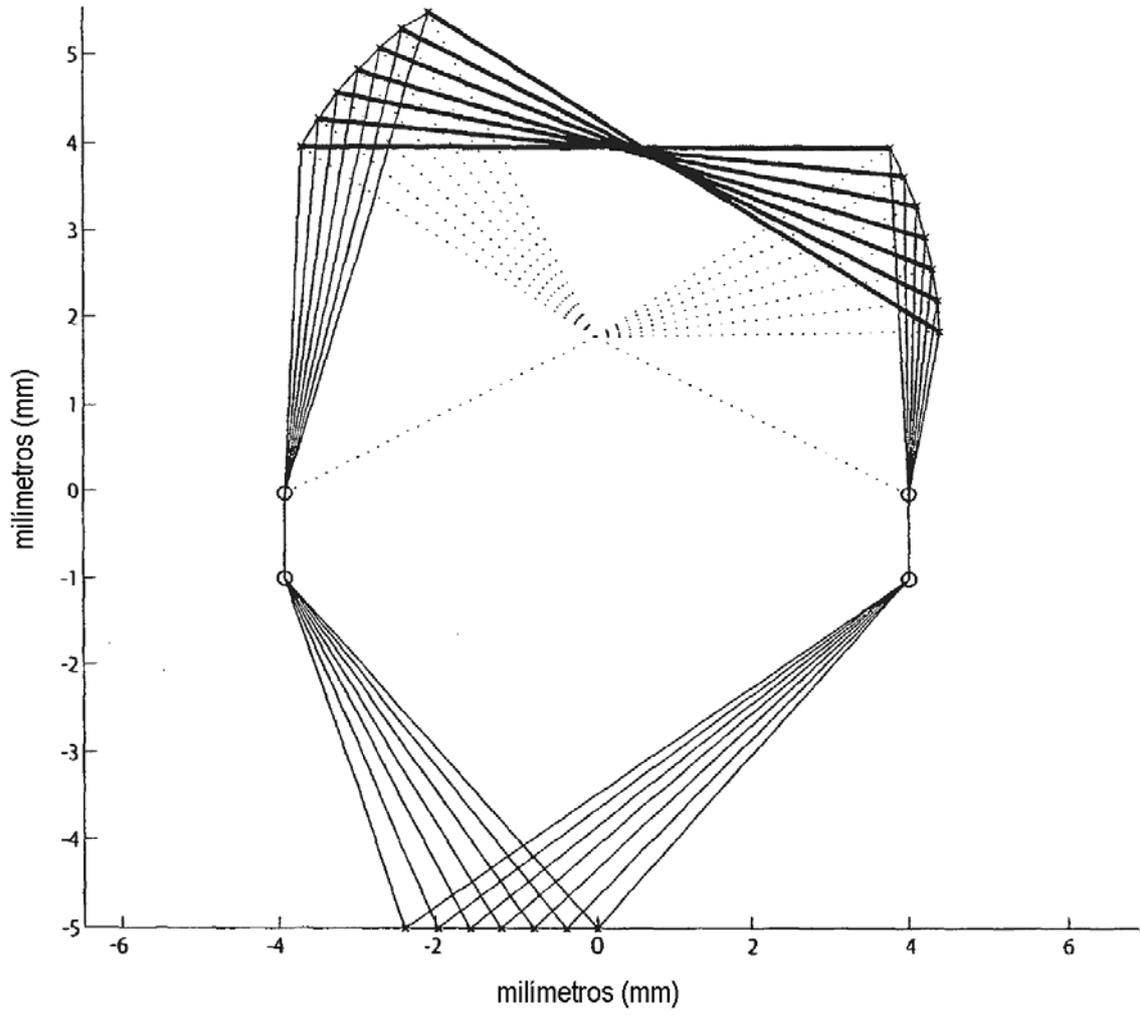


FIG. 19

Trazo de configuración de articulación real durante recuperación juego y giros en sentido contrario agujas reloj

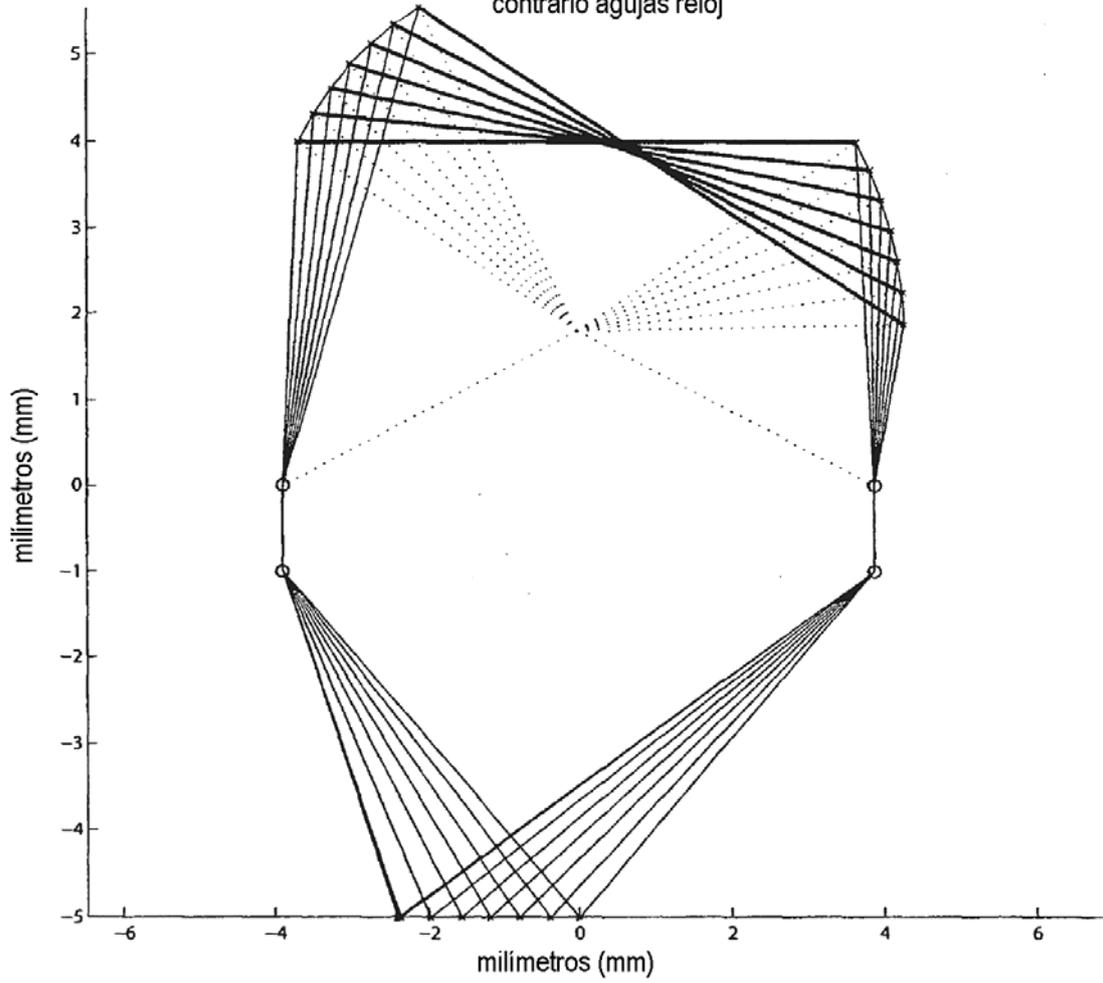


FIG. 20

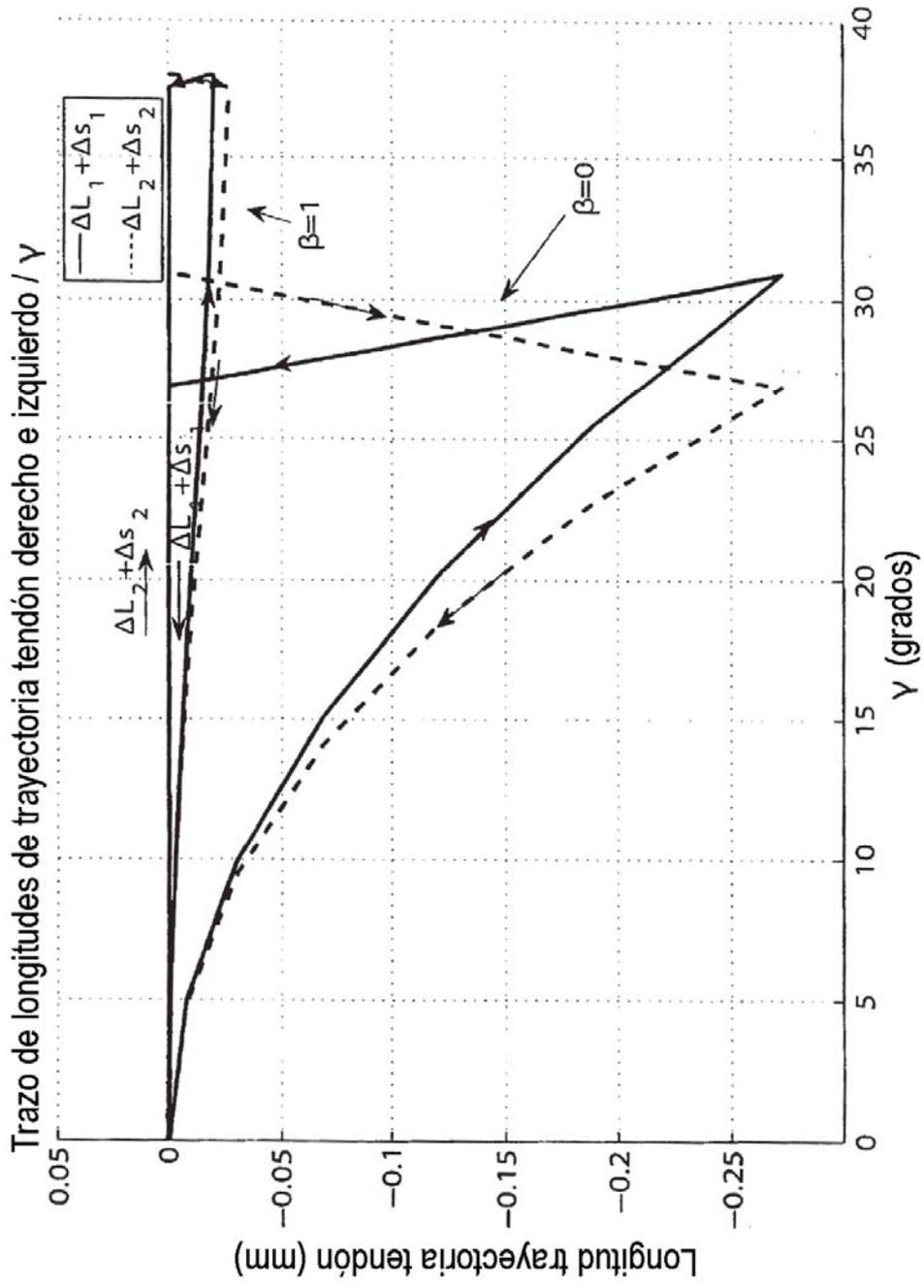


FIG. 21

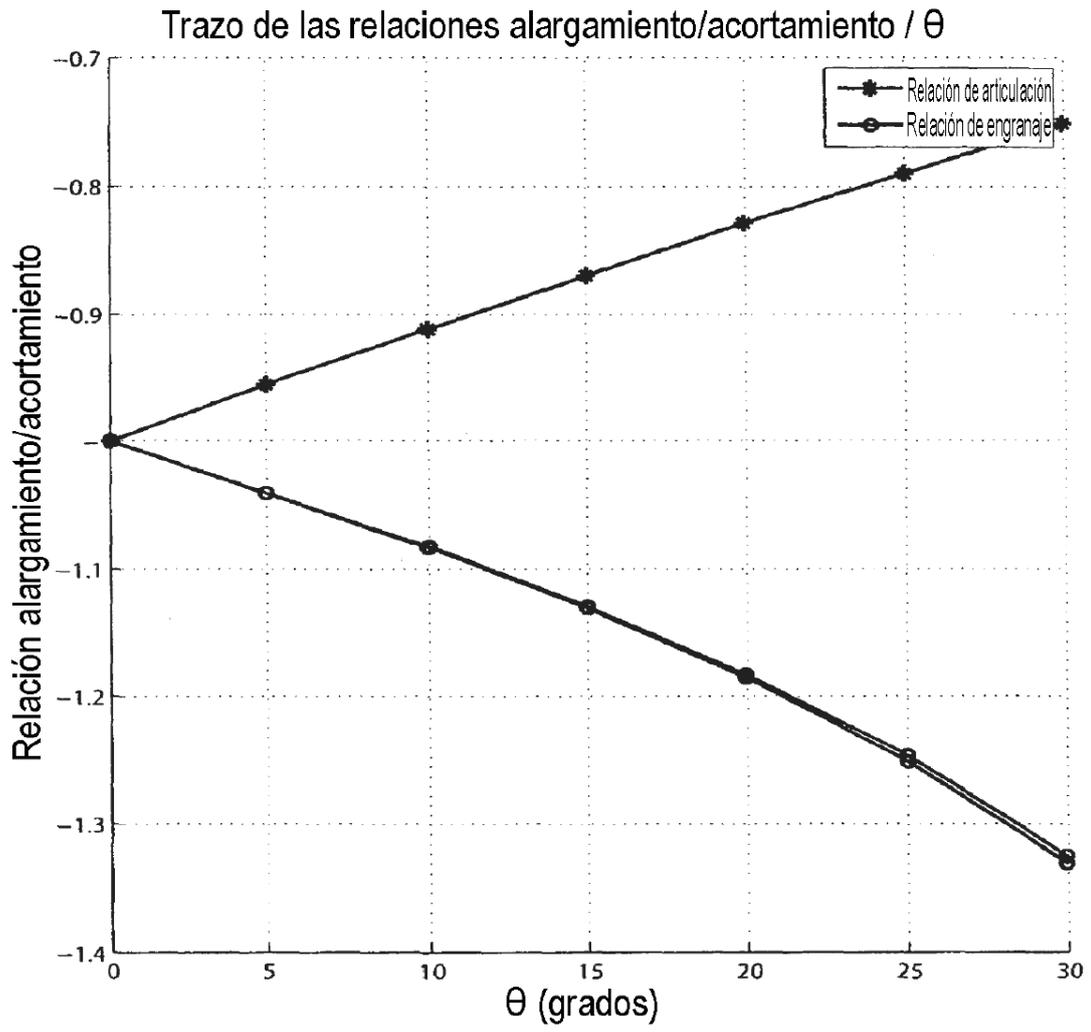


FIG. 22

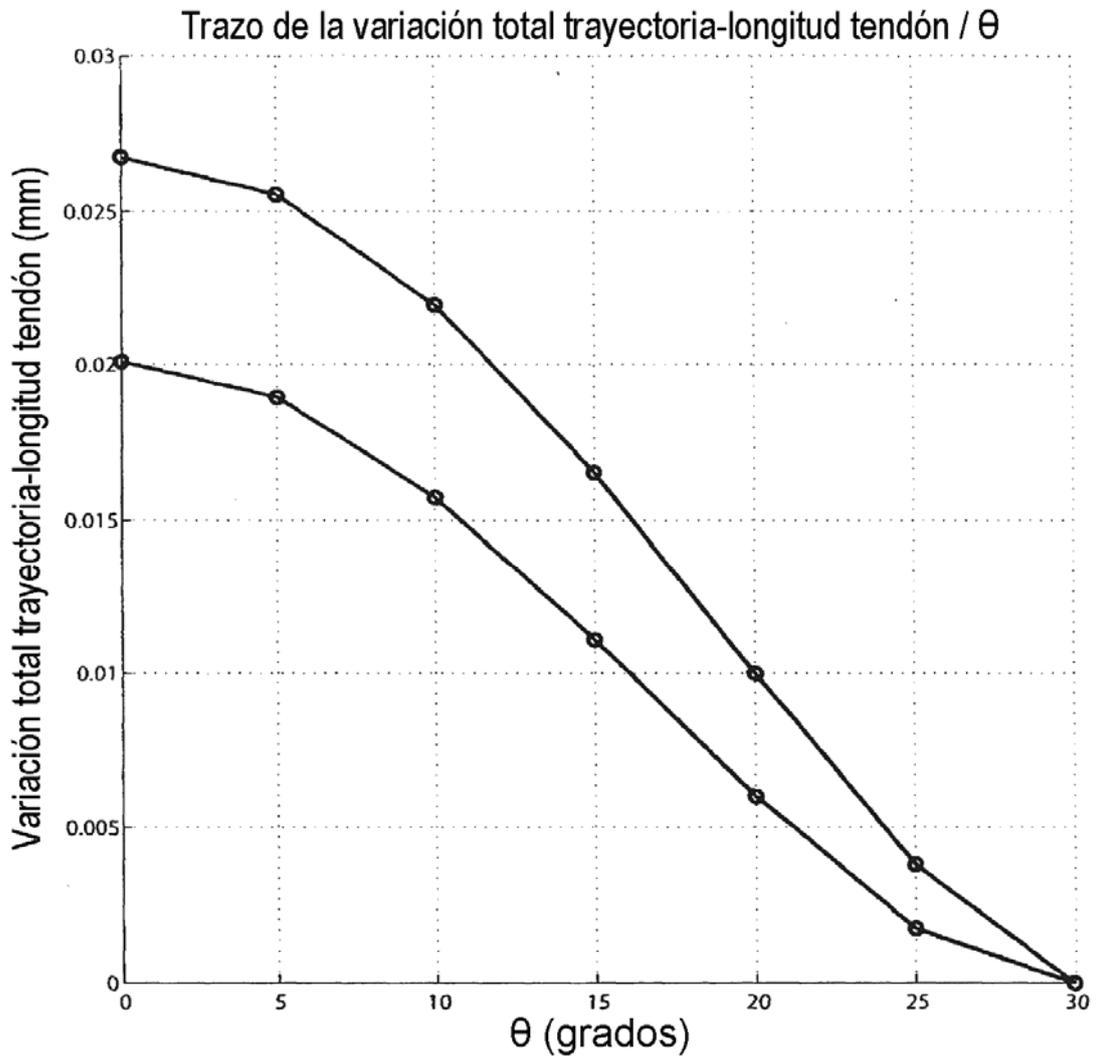


FIG. 23

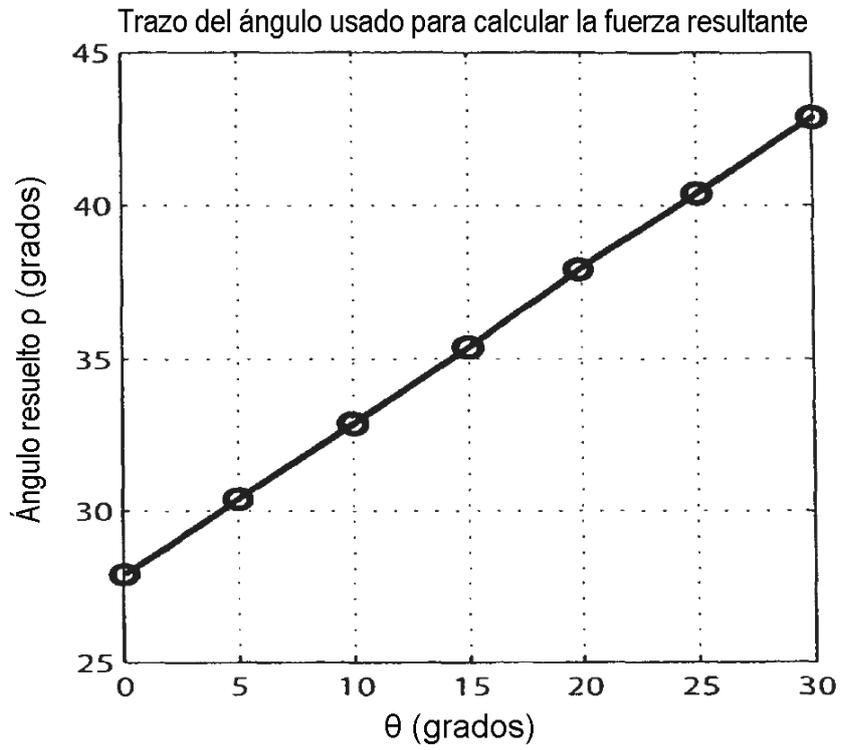


FIG. 24A

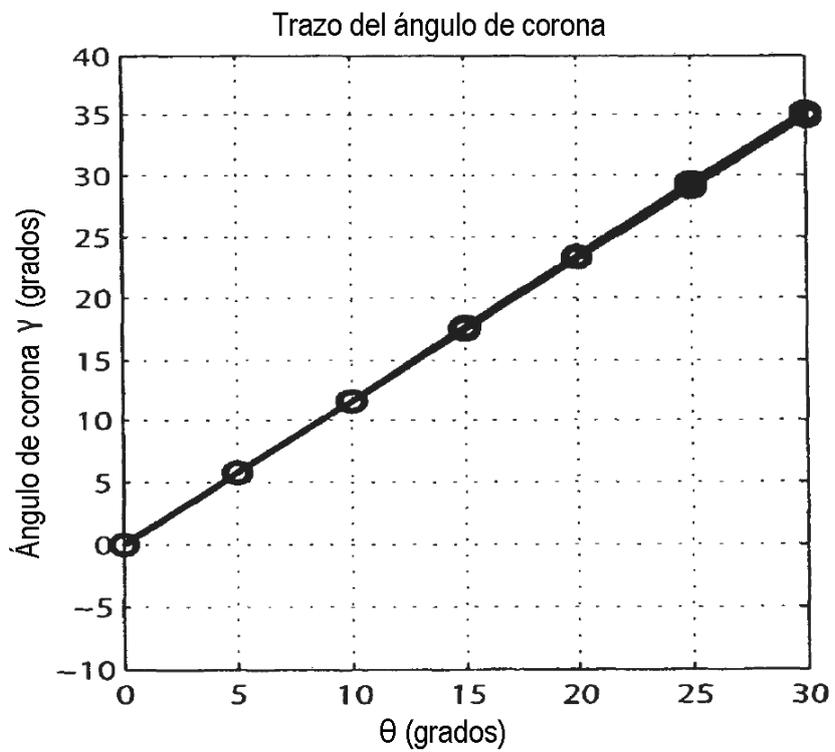


FIG. 24B

Trazo de la fuerza resultante como una fracción de la fuerza de engranaje

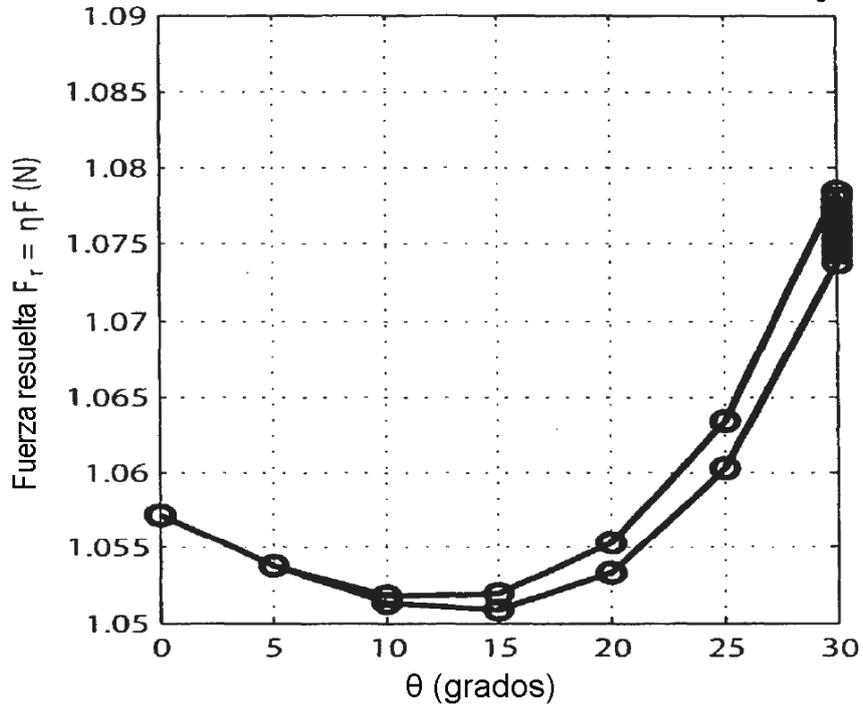


FIG. 24C

Trazo del par resultante para $F = 1$ N y $D = 4,2785$ mm

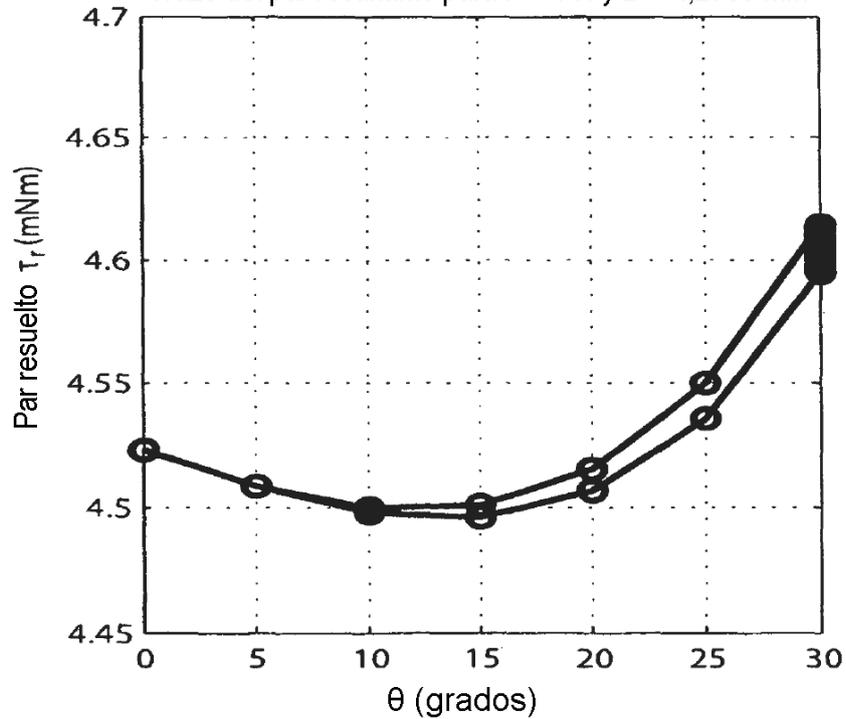


FIG. 24D

Trazo de configuración de articulación real durante giro en sentido agujas reloj

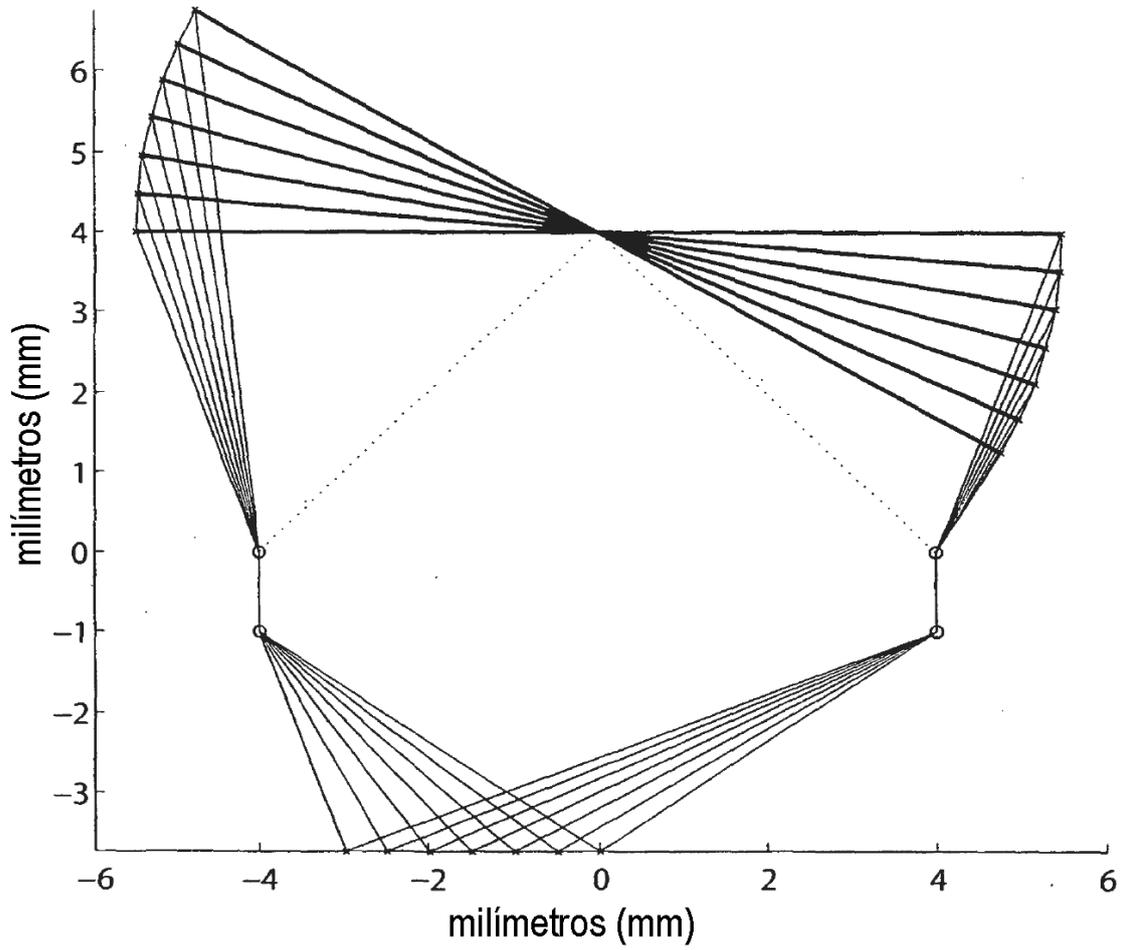


FIG. 25

Trazo de configuración de articulación real durante recuperación juego y giros en sentido contrario agujas reloj

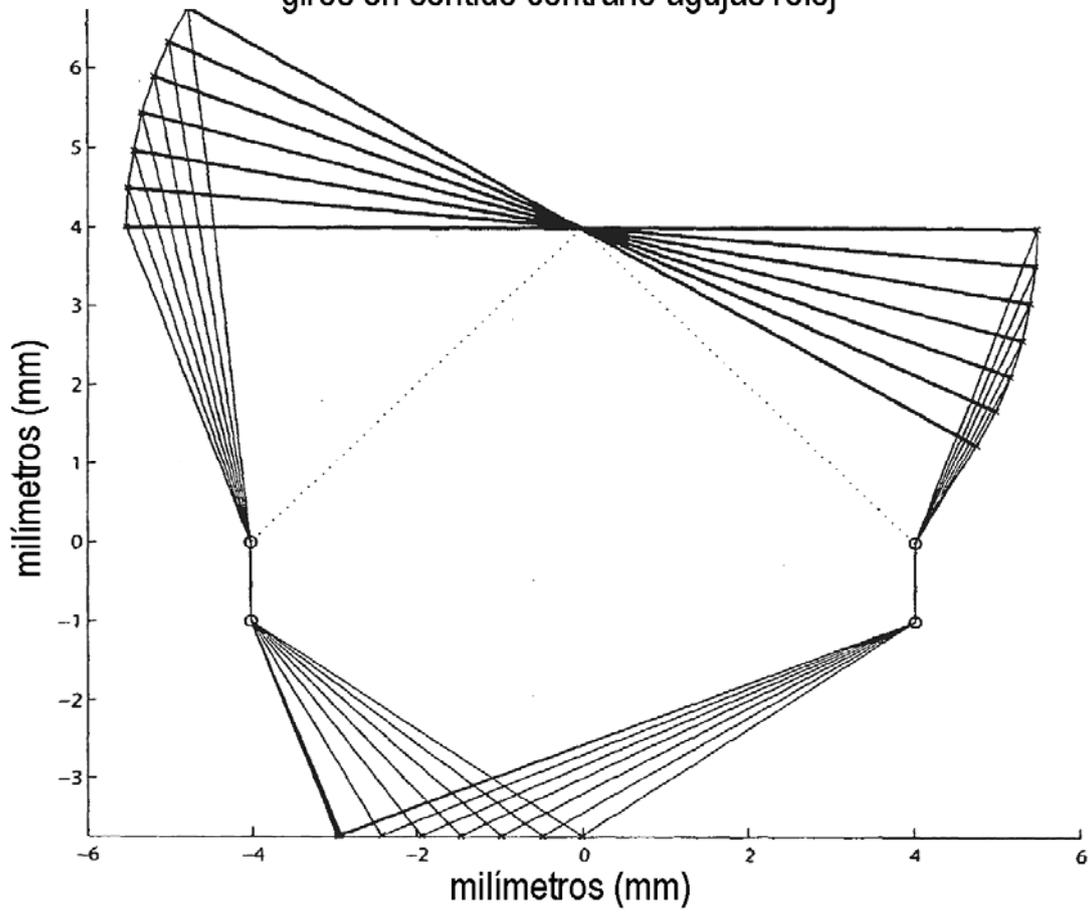


FIG. 26

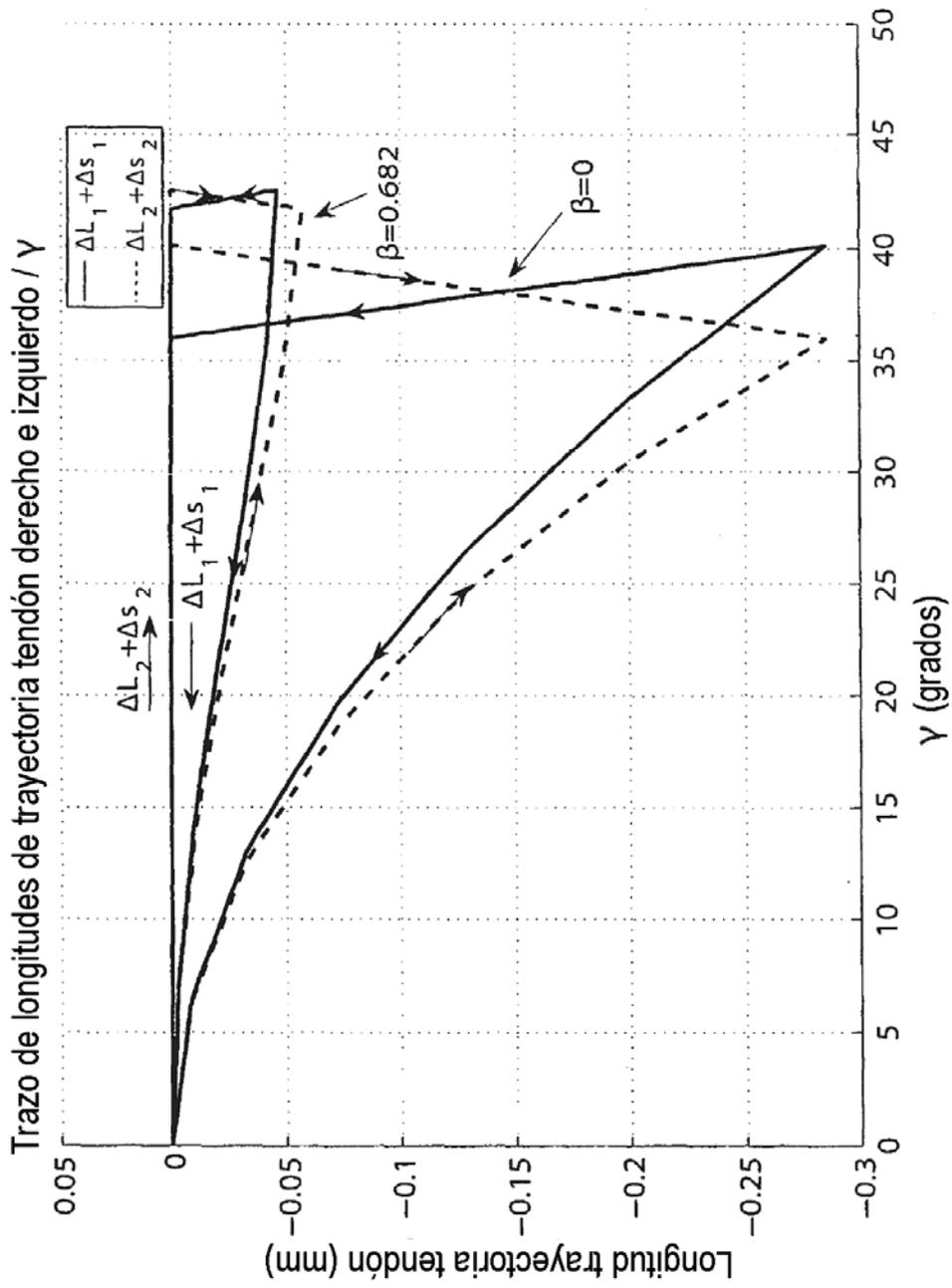


FIG. 27

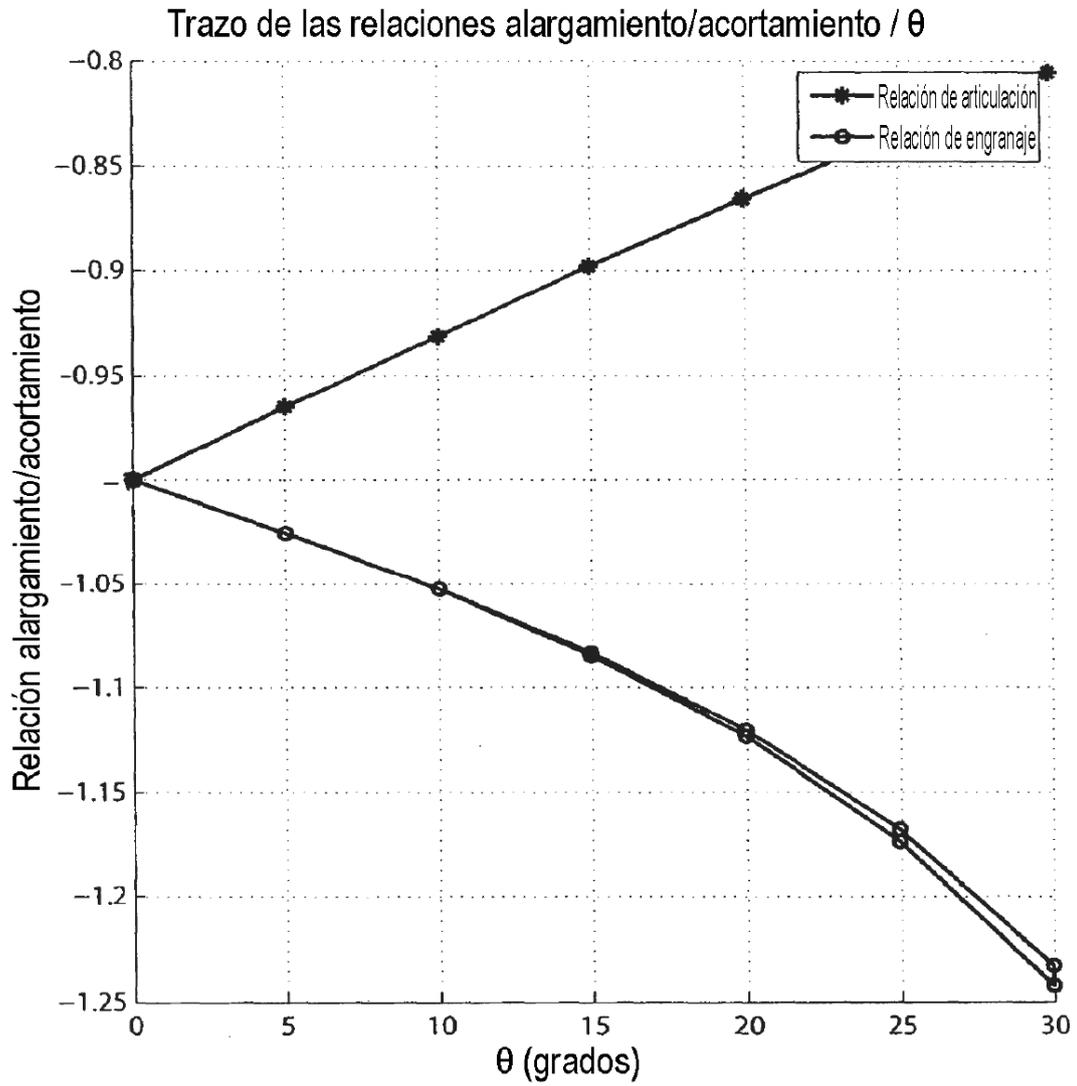


FIG. 28

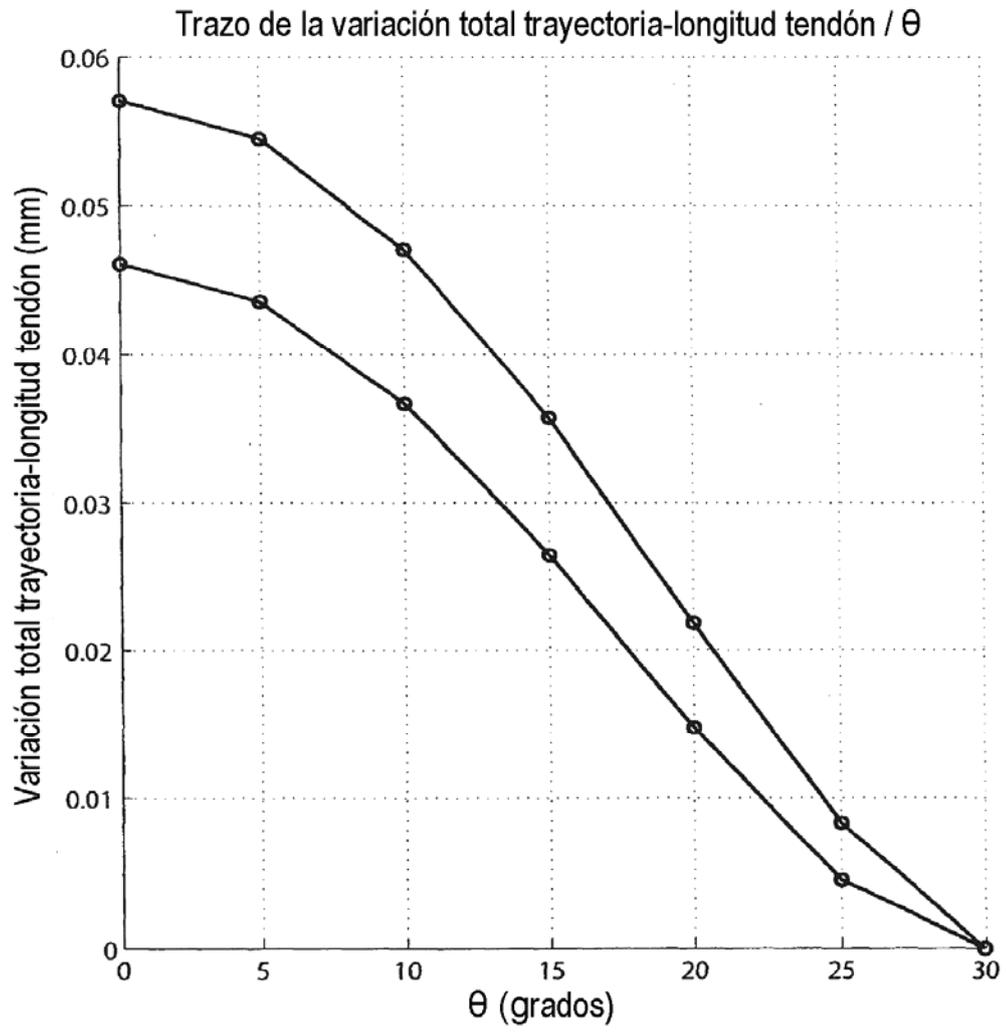


FIG. 29

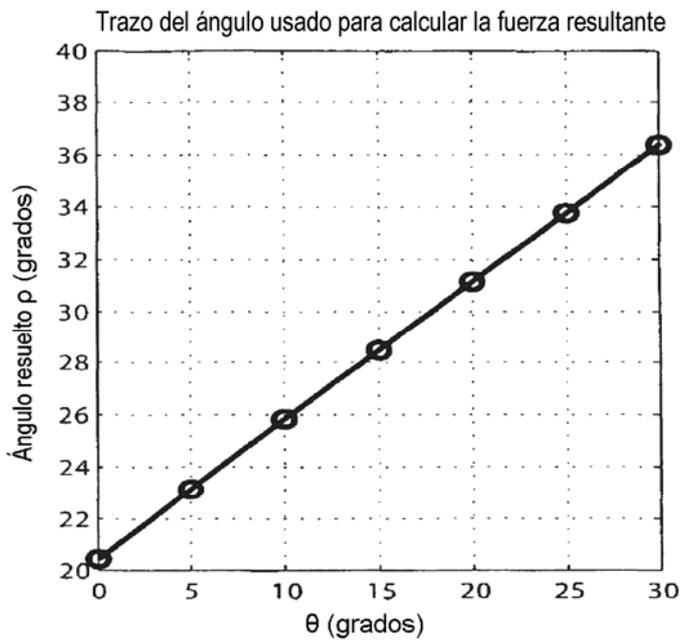


FIG. 30A

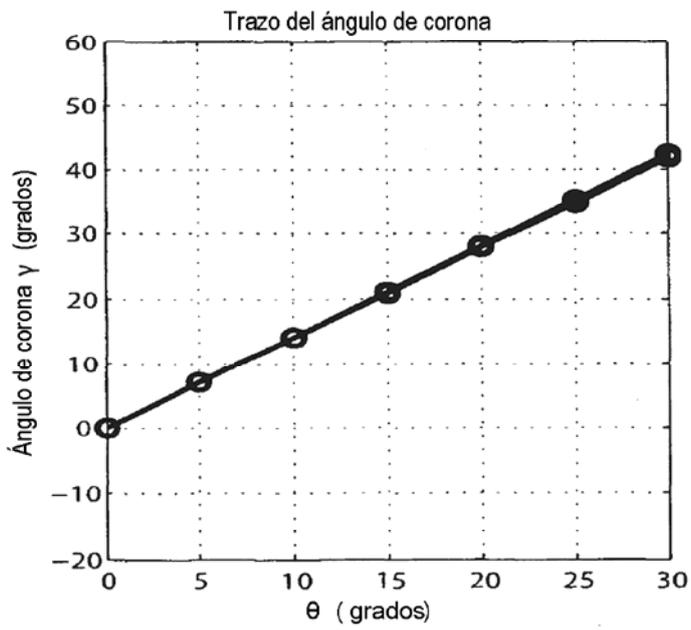


FIG. 30B

Trazo de la fuerza resultante como una fracción de la fuerza de engranaje

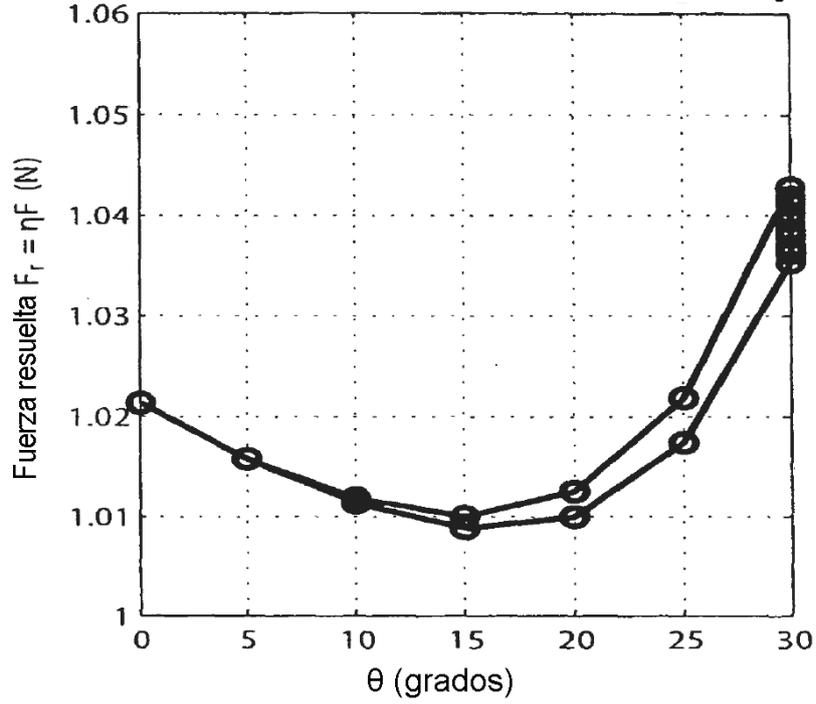


FIG. 30C

Trazo del par resultante para $F = 1$ N y $D = 5,5$ mm

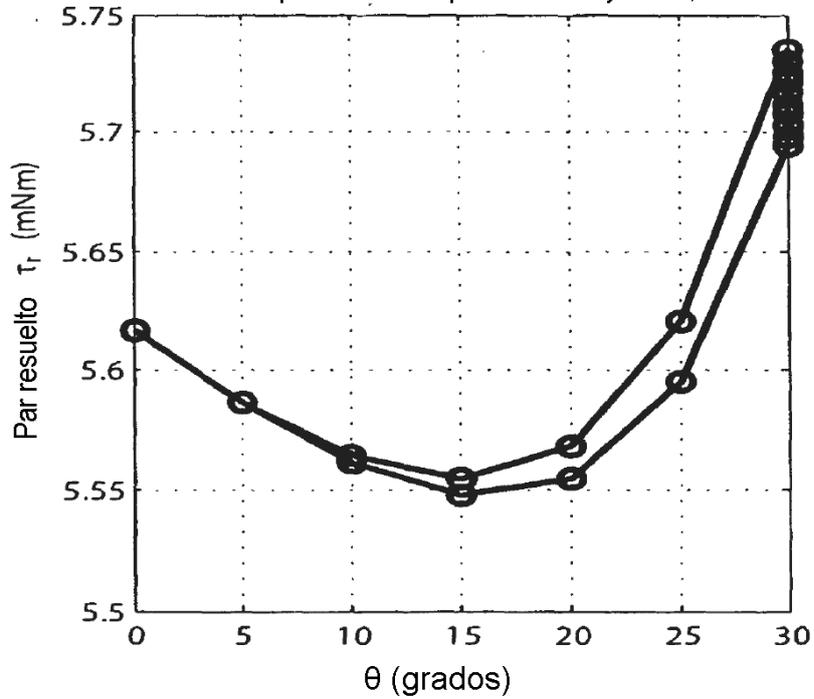


FIG. 30D

Trazo de configuración de articulación real durante giro
en sentido agujas reloj

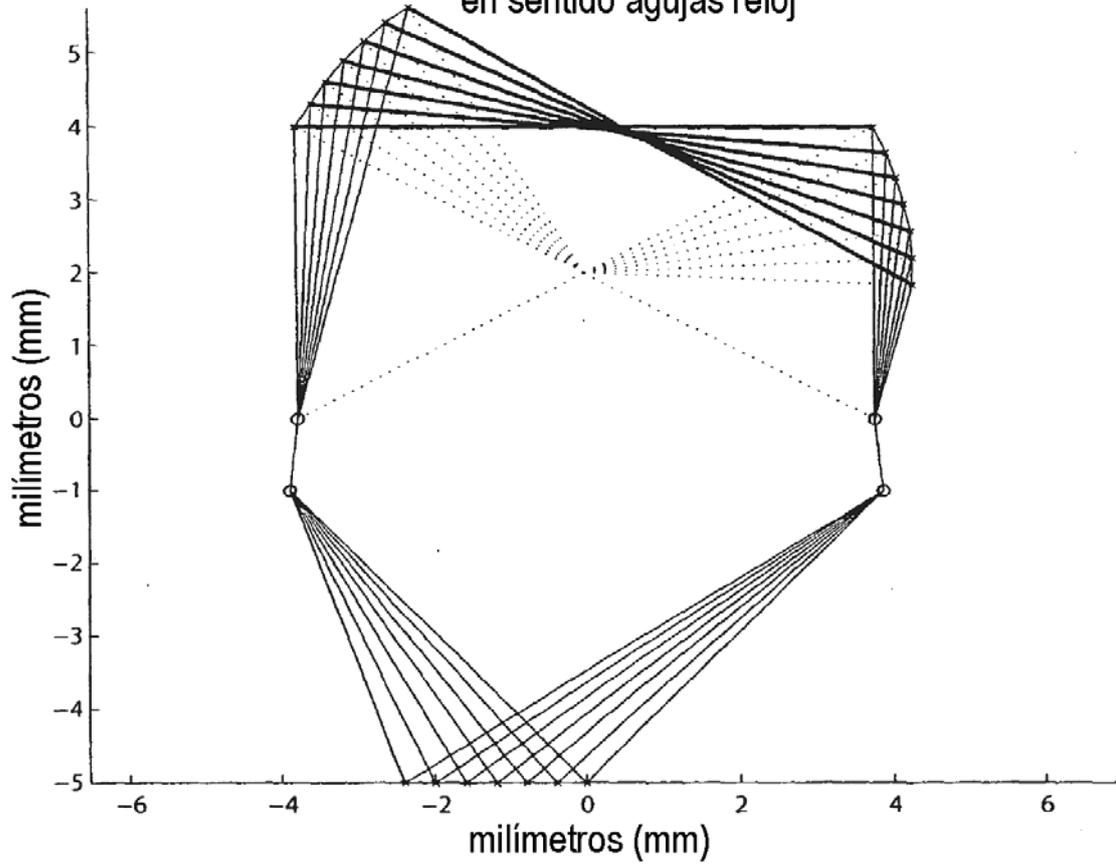


FIG. 31

Trazo de configuración de articulación real durante recuperación
juego y giros en sentido contrario agujas reloj

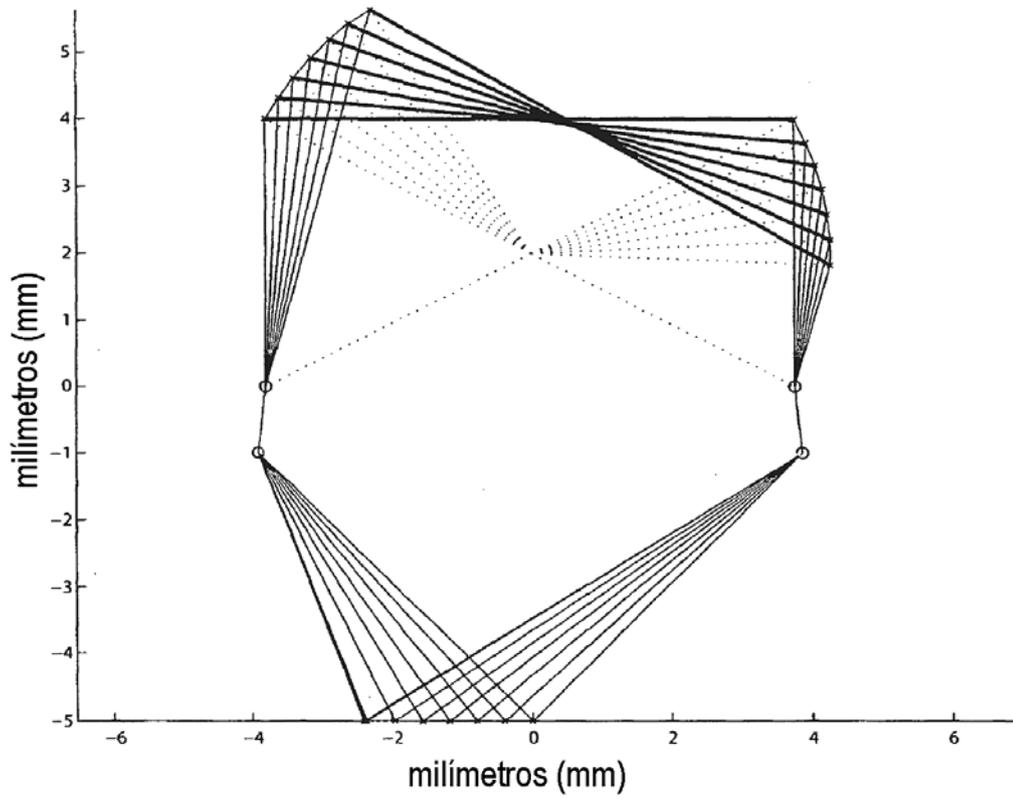


FIG. 32

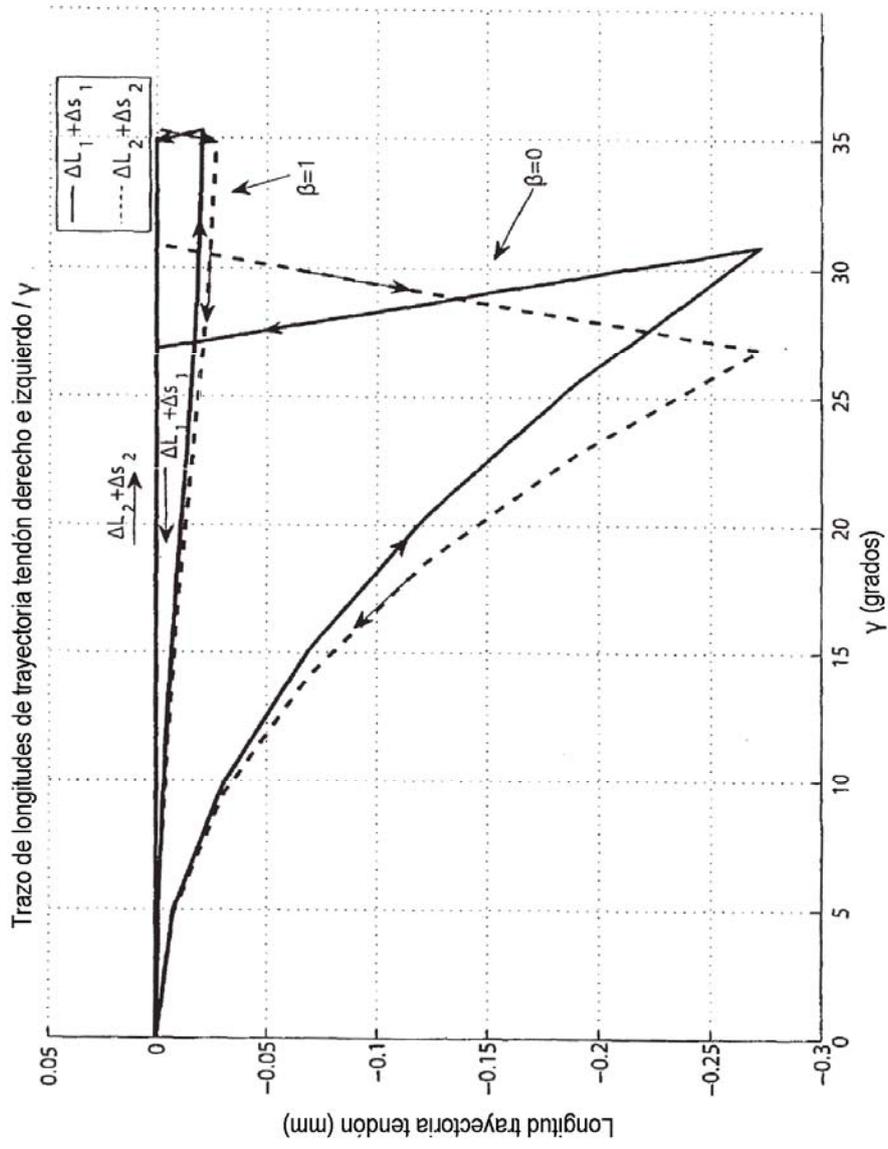


FIG. 33

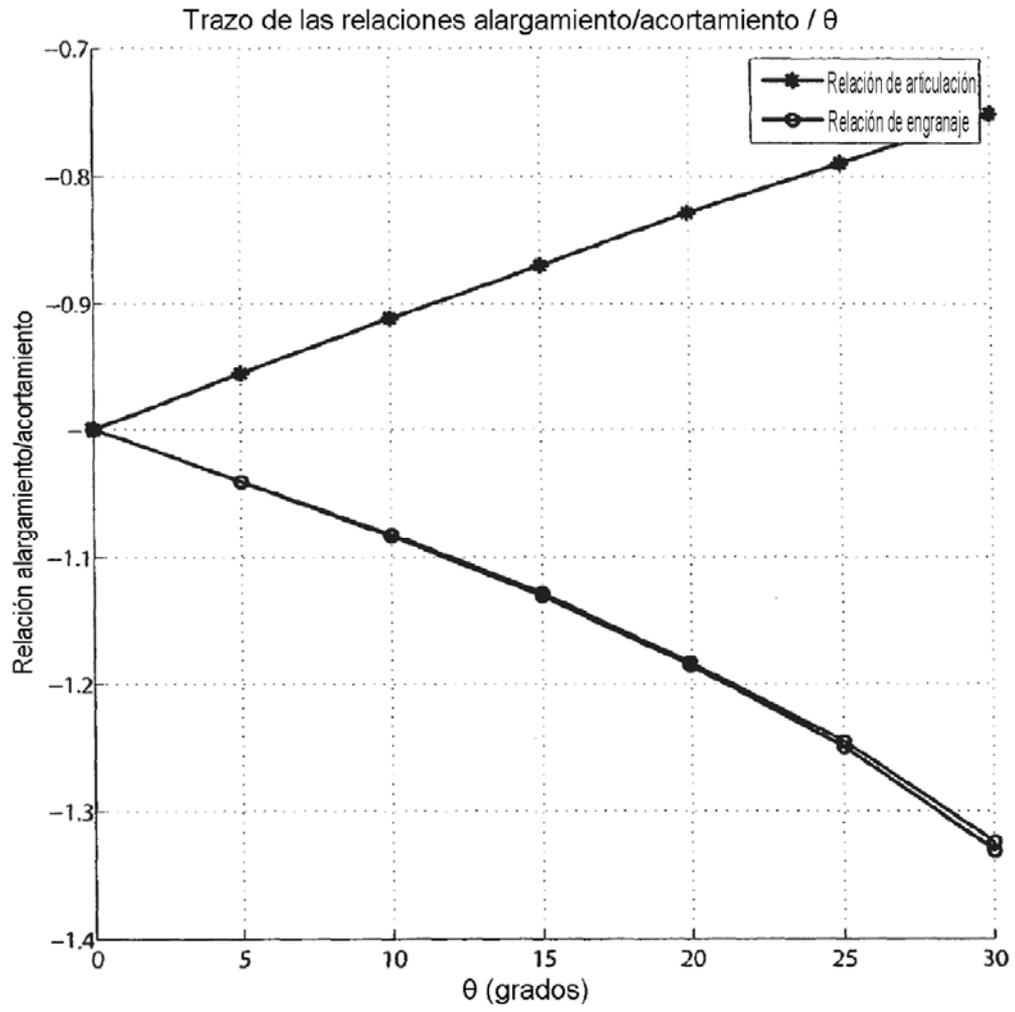


FIG. 34

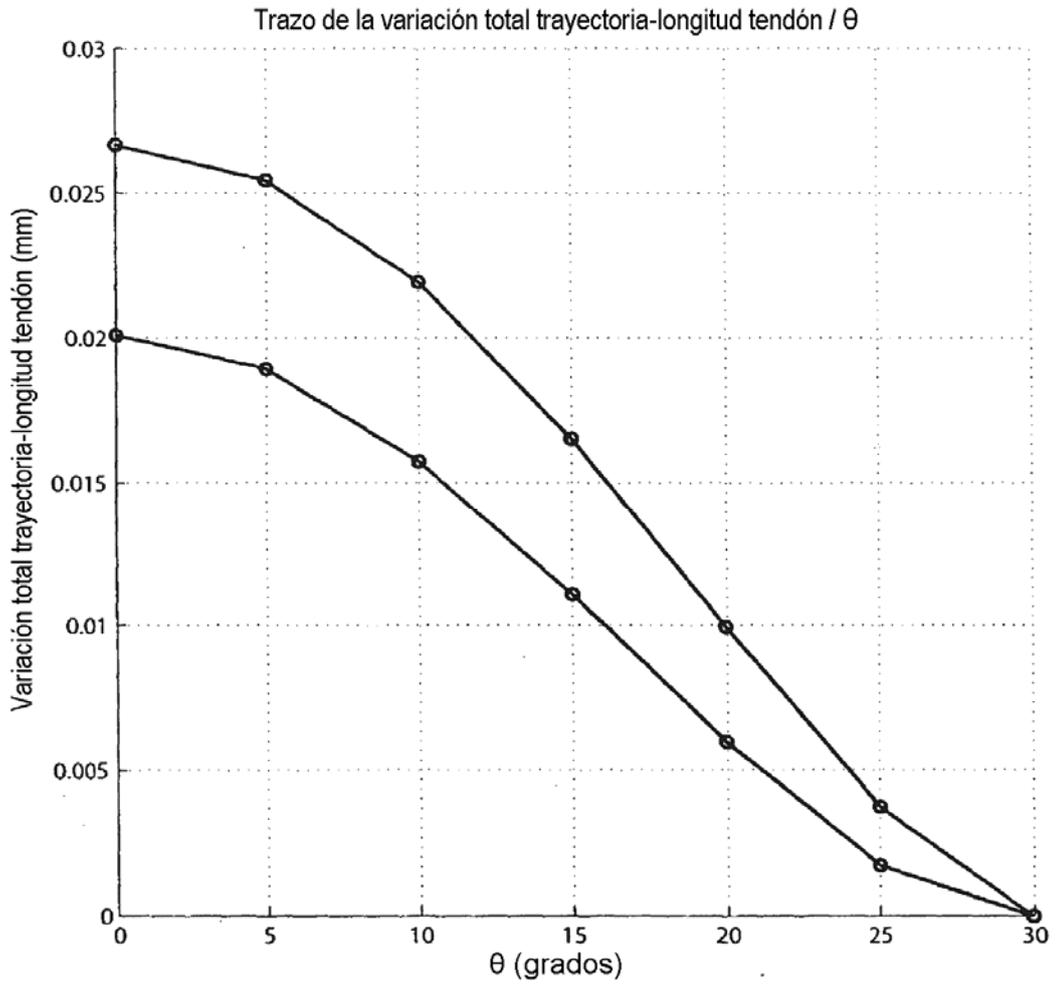


FIG. 35

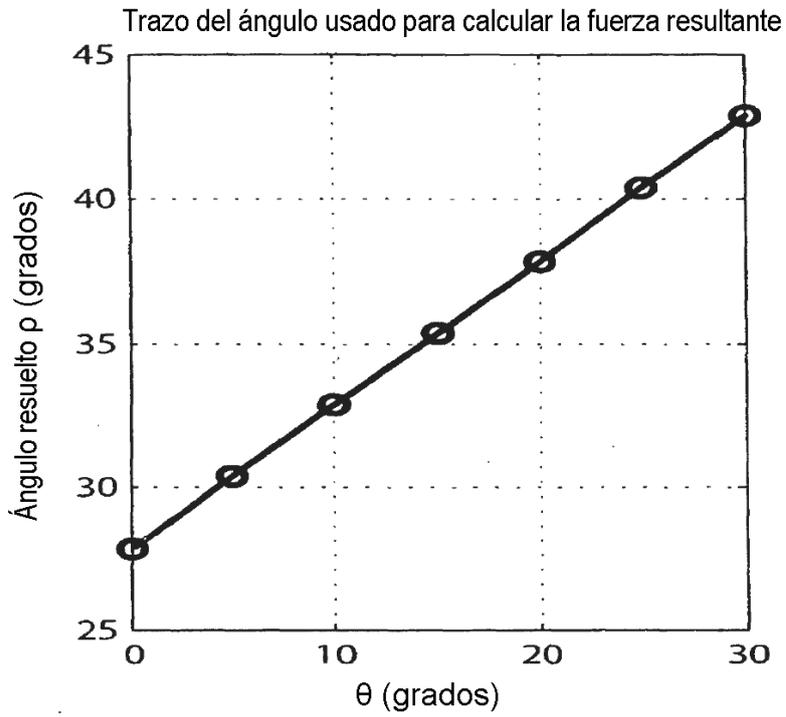


FIG. 36A

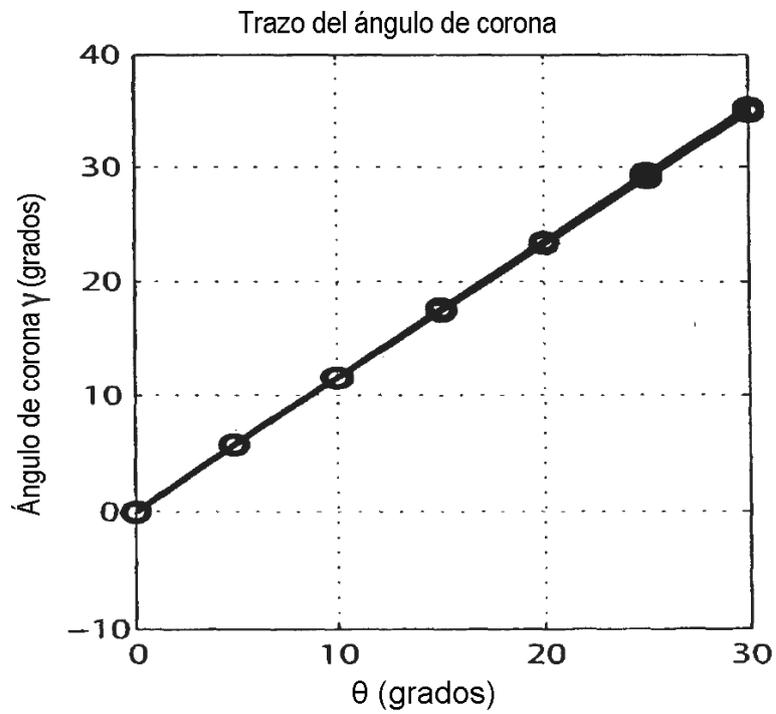


FIG. 36B

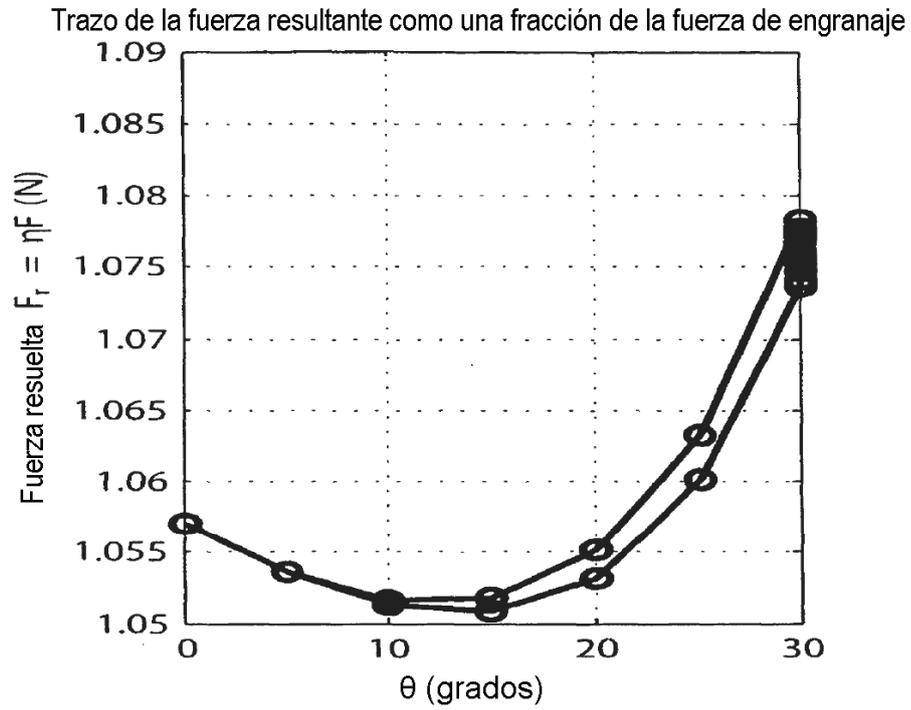


FIG. 36C

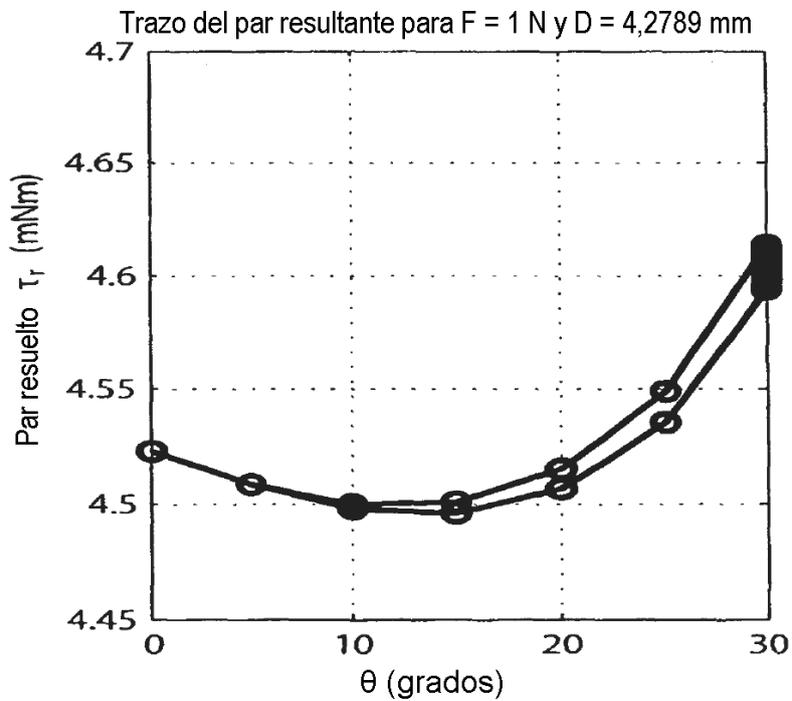


FIG. 36D

Trazo de configuración de articulación real durante giro en sentido agujas reloj

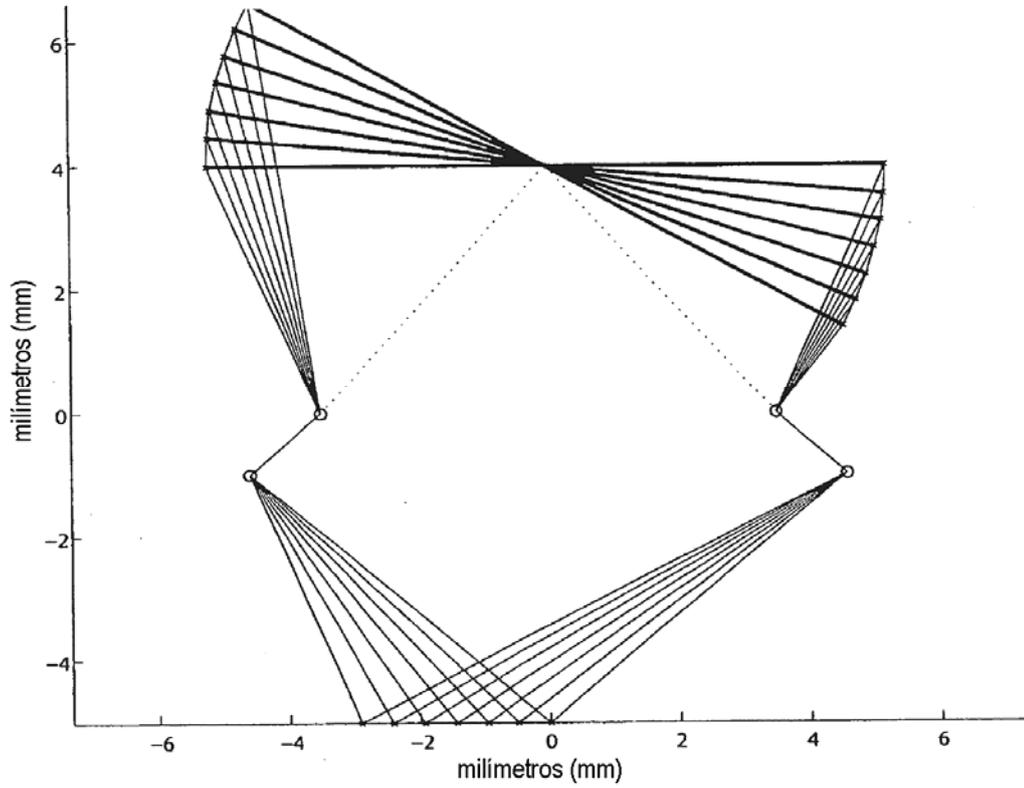


FIG. 37

Trazo de configuración de articulación real durante recuperación juego y giros en sentido contrario agujas reloj

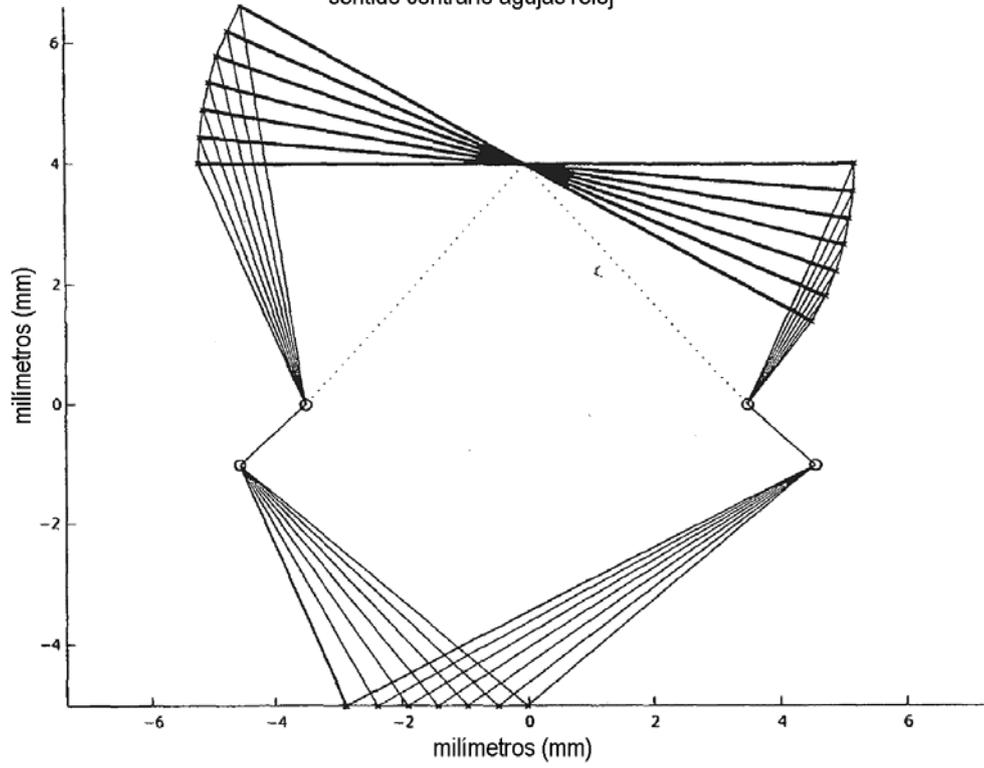


FIG.38

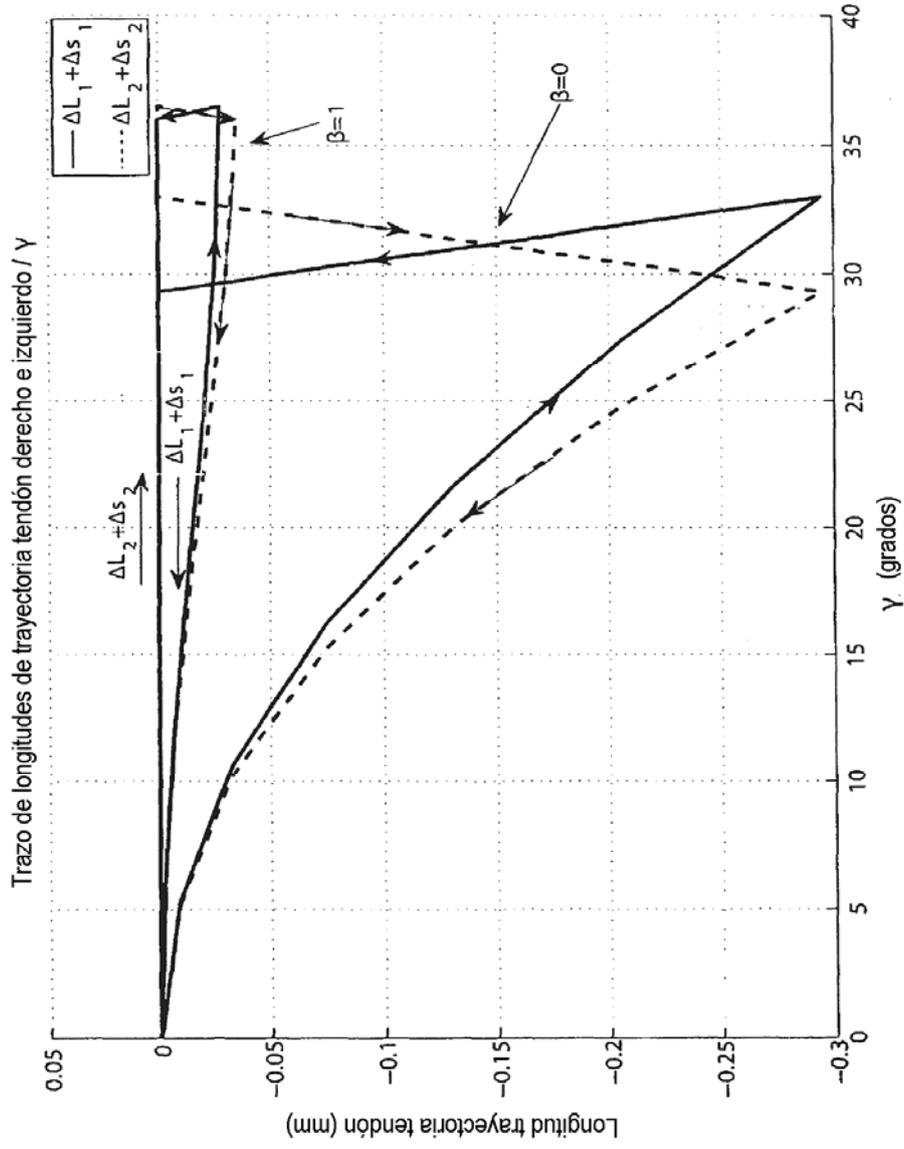


FIG. 39

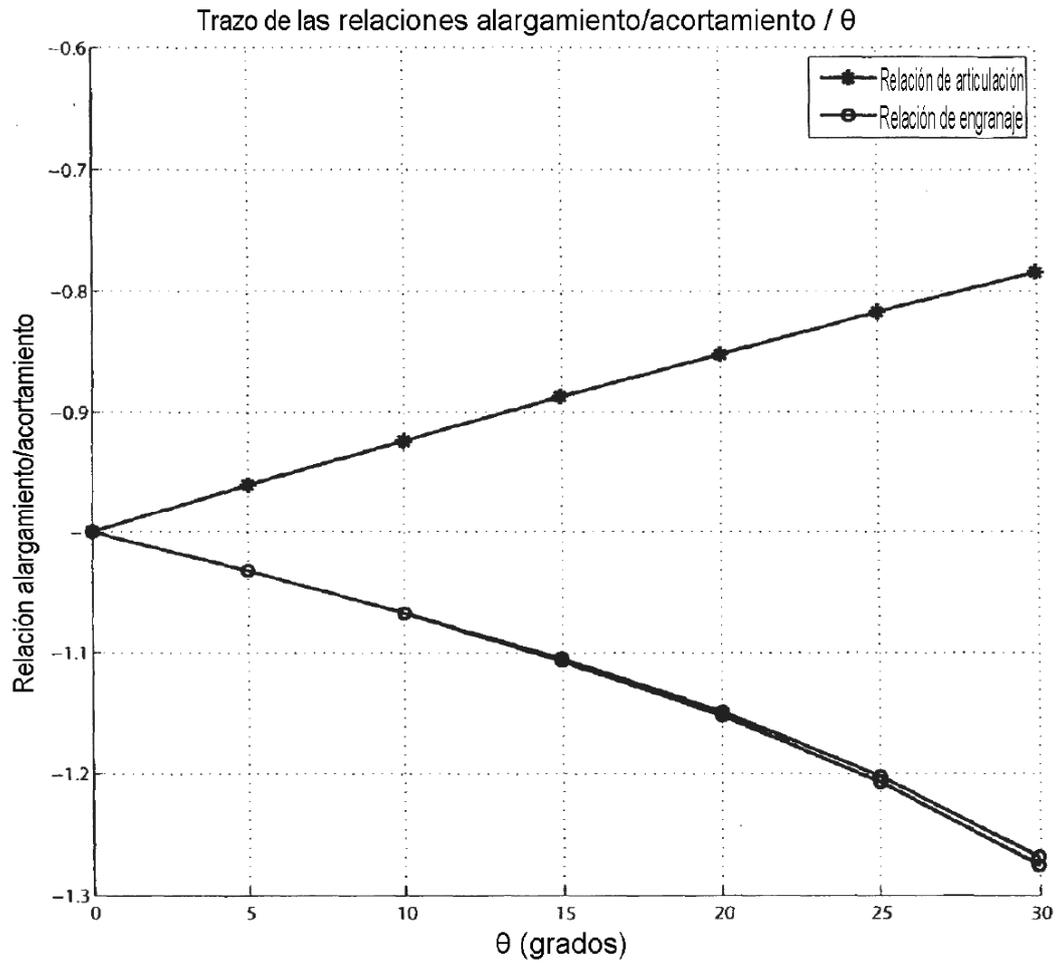


FIG. 40

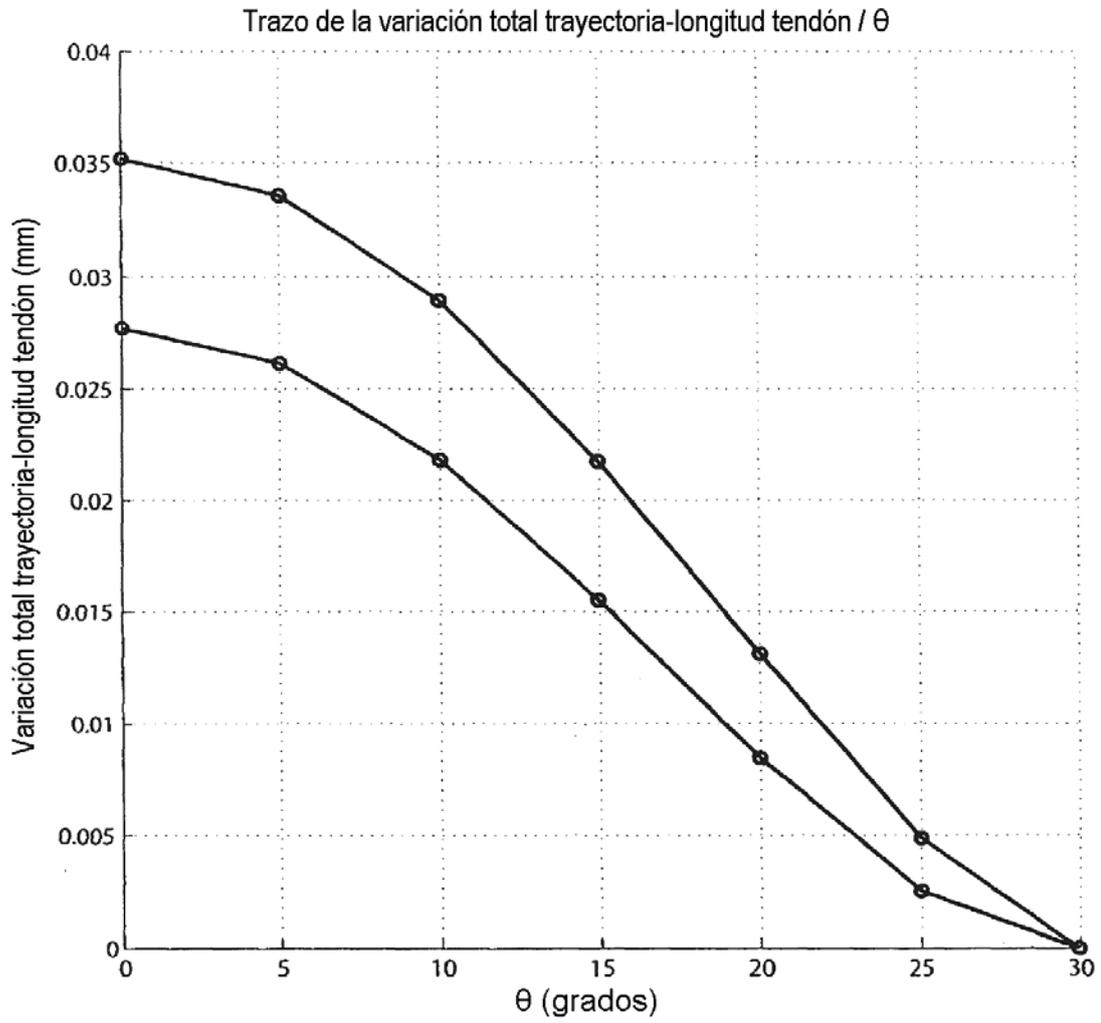


FIG. 41

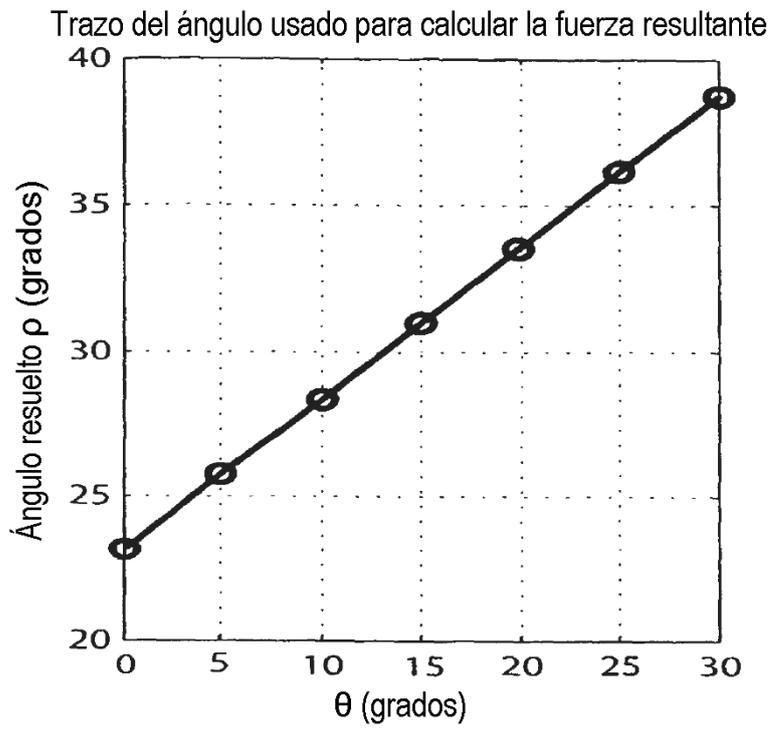


FIG. 42A

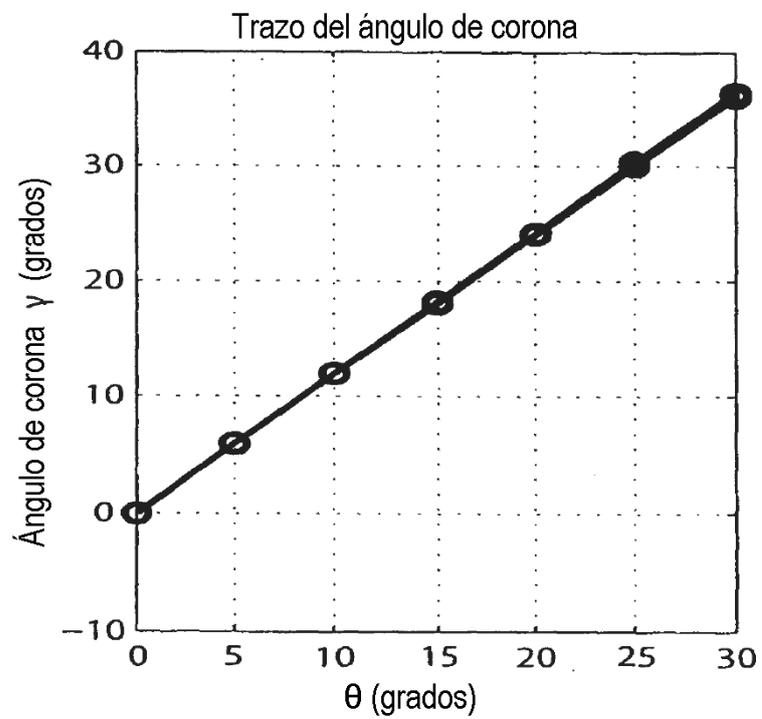


FIG. 42B

Trazo de la fuerza resultante como una fracción de la fuerza de engranaje

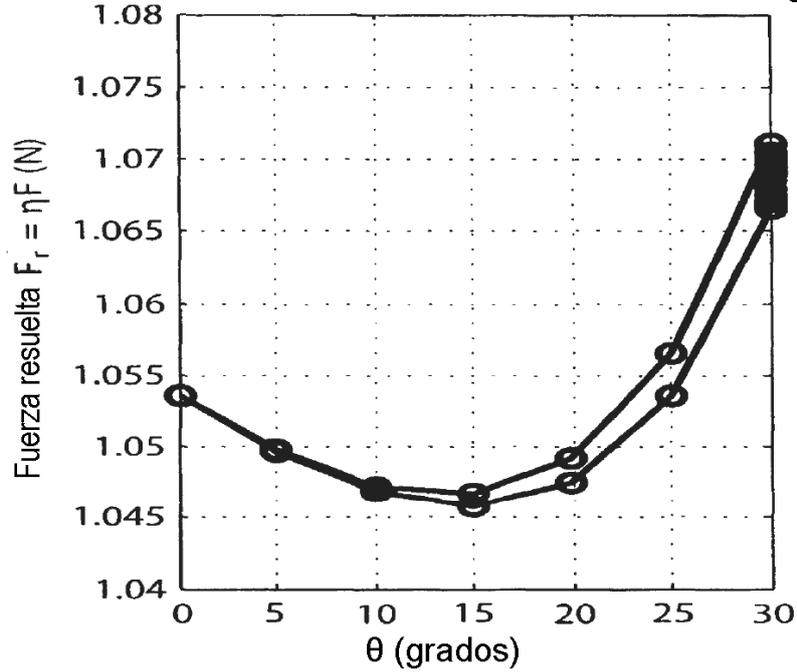


FIG. 42C

Trazo del par resultante para $F = 1$ N y $D = 5,2079$ mm

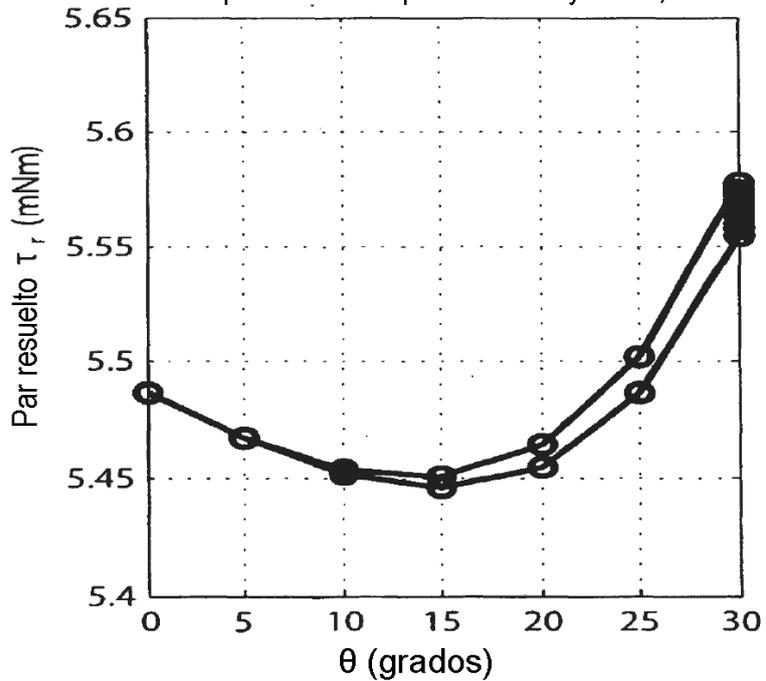


FIG. 42D

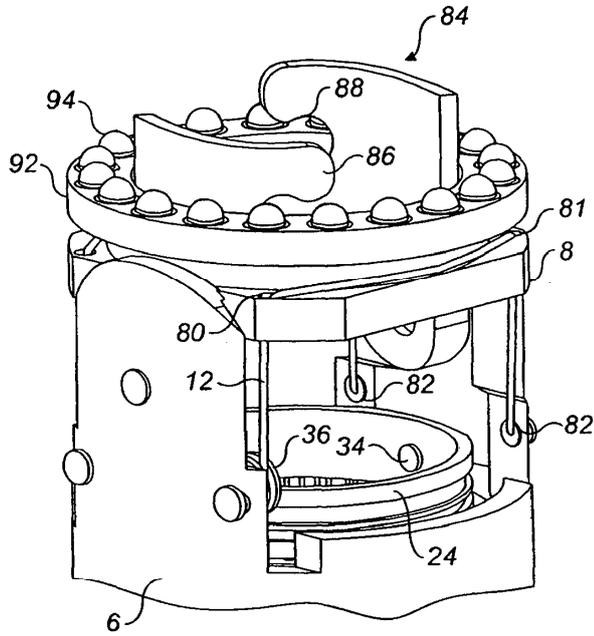


FIG. 43

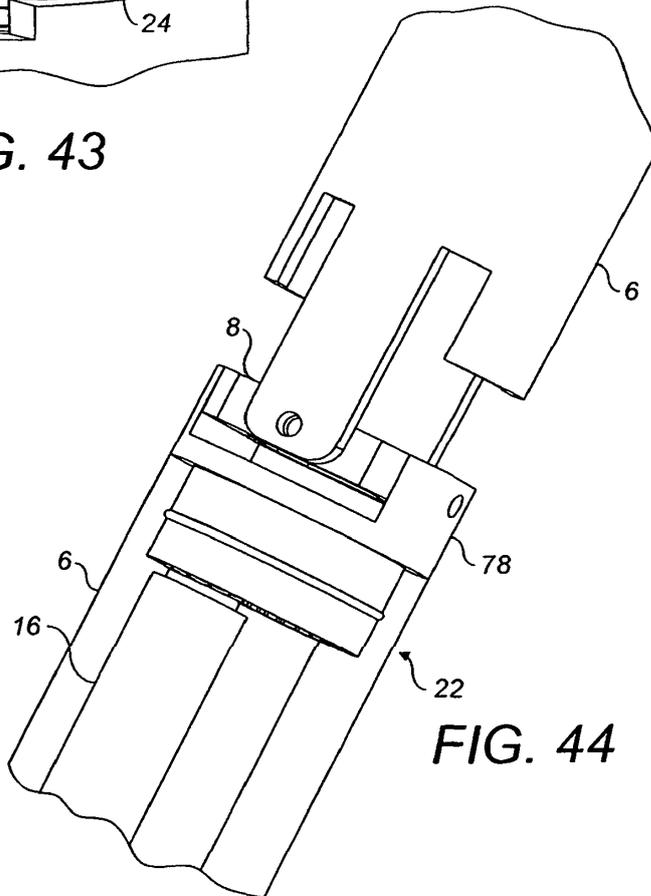


FIG. 44