

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 988 597**

(51) Int. Cl.:

**A61B 34/30** (2006.01)  
**A61B 34/35** (2006.01)  
**B25J 17/02** (2006.01)  
**B25J 9/16** (2006.01)

(12)

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.05.2016 PCT/GB2016/051389**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **17.11.2016 WO16181164**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.05.2016 E 16723483 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2024 EP 3294183**

---

(54) Título: **Detección de par de torsión en una muñeca robótica quirúrgica**

(30) Prioridad:

**14.05.2015 GB 201508260**

(73) Titular/es:

**CMR SURGICAL LIMITED (100.0%)  
1 Evolution Business Park, Milton Road  
Cambridge CB24 9NG, GB**

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

**21.11.2024**

(72) Inventor/es:

**HARES, LUKE DAVID RONALD y  
MARSHALL, KEITH**

(74) Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

**ES 2 988 597 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

Detección de par de torsión en una muñeca robótica quirúrgica

### Antecedentes

Esta invención se refiere a robots para realizar tareas quirúrgicas.

5 Se han propuesto varios diseños de robots para realizar o asistir en cirugía. Sin embargo, muchos diseños de robots presentan problemas que los hacen inadecuados para realizar una amplia gama de procedimientos quirúrgicos. Una razón habitual es que, para que un robot quirúrgico funcione bien en una amplia gama de situaciones quirúrgicas, debe equilibrar con éxito una serie de exigencias propias del entorno quirúrgico.

10 Normalmente un robot quirúrgico tiene un brazo robótico, con un instrumento quirúrgico acoplado al extremo distal del brazo robótico.

Una exigencia común a un robot quirúrgico es que su brazo robótico ofrezca suficiente flexibilidad mecánica para poder posicionar el instrumento quirúrgico en una amplia gama de ubicaciones y orientaciones, de modo que la punta de trabajo del instrumento quirúrgico (el efecto final) pueda alcanzar una gama de sitios quirúrgicos deseados. Esta demanda por sí sola podría satisfacerse fácilmente con un brazo robótico convencional totalmente flexible con seis grados de libertad, como se ilustra en la figura 1. Sin embargo, en segundo lugar, un robot quirúrgico también debe ser capaz de posicionar su brazo de forma que el efecto final del instrumento se coloque con gran precisión sin que el robot sea excesivamente grande o pesado. Este requisito surge porque, a diferencia de los robots a gran escala que se utilizan para muchas otras tareas, (a) los robots quirúrgicos tienen que trabajar de forma segura muy cerca de las personas: no sólo del paciente, 15 sino también del personal quirúrgico, como anestesistas y asistentes quirúrgicos, y (b) para realizar muchos procedimientos laparoscópicos es necesario reunir varios efectores finales muy cerca, por lo que es deseable que los brazos robóticos quirúrgicos sean lo suficientemente pequeños como para que puedan encajar estrechamente entre sí. Otro problema con el robot de la figura 1 es que en algunos entornos quirúrgicos no hay espacio suficiente para poder ubicar la base del robot en un lugar conveniente cerca del lugar de la 20 operación.

25 Muchos robots tienen una muñeca (es decir, la estructura articulada terminal del brazo) que comprende dos articulaciones que permiten la rotación sobre un eje generalmente a lo largo del brazo ("articulaciones de balanceo") y entre ellas una articulación que permite la rotación sobre un eje generalmente transversal al brazo (una "articulación de cabeceo"). Tal muñeca se muestra en la figura 2, donde las articulaciones de balanceo se indican como 1 y 3 y la articulación de cabeceo se indica como 2. Con la muñeca en la configuración mostrada en la figura 2, los ejes de las articulaciones 1 a 3 se indican como 4 a 6 respectivamente. Esta muñeca da a un instrumento 7 la libertad de movimiento para ocupar una semiesfera cuya base está centrada en el eje 4. Sin embargo, esta muñeca no es adecuada para su uso en un robot quirúrgico. Una razón para ello es que cuando la articulación 2 de cabeceo se desplaza sólo un pequeño ángulo de la posición recta mostrada en la figura 2, 30 se necesita una gran rotación de la articulación 1 para producir algunos movimientos laterales relativamente pequeños de la punta del instrumento. En esta condición, cuando la articulación de cabeceo es casi recta, para mover el efecto final suavemente en un periodo de tiempo razonable, el accionamiento a la articulación 1 debe ser capaz de operar muy rápido. Este requisito no es fácilmente compatible con la fabricación de un brazo pequeño y ligero, ya que requiere un motor de accionamiento relativamente grande y un brazo lo 35 suficientemente rígido como para que el motor pueda reaccionar contra él sin sacudir la posición del brazo.

40 Otra demanda común en un robot quirúrgico es que debe ser diseñado de tal manera que las fuerzas que se aplican al instrumento quirúrgico sean medibles. Como el cirujano no está en contacto directo con el instrumento quirúrgico durante la cirugía robótica, se pierde la respuesta táctil en comparación con la cirugía manual. Esta falta de sensación táctil significa que el cirujano no sabe cuánta fuerza se está aplicando al utilizar el instrumento quirúrgico. Esto afecta a la destreza del cirujano. Además, demasiada fuerza ejercida puede causar daños internos al paciente en la zona quirúrgica, y también puede dañar el instrumento quirúrgico y el brazo robótico. Al medir las fuerzas aplicadas al instrumento quirúrgico, éstas pueden implementarse en un mecanismo de retroalimentación de fuerza para proporcionar retroalimentación de fuerza al cirujano. Por ejemplo, la tecnología háptica puede utilizarse para convertir las fuerzas medidas en sensaciones físicas en 45 los dispositivos de entrada con los que interactúa el cirujano, sustituyendo así la sensación táctil de la cirugía manual.

50 La muñeca mostrada en la figura 2 permite cierta medición de la fuerza. Concretamente, las fuerzas que se ejercen verticalmente sobre el instrumento quirúrgico (es decir, perpendiculares al eje 5), ilustradas por la flecha 8, pueden medirse utilizando un sensor de par de torsión aplicado a la articulación 2 de cabeceo. Sin embargo, las fuerzas que se aplican al instrumento quirúrgico desde otras direcciones no pueden detectarse mediante 55 sensores de par de torsión aplicados a la muñeca. Existen otras técnicas para detectar fuerzas aplicadas desde otras direcciones, por ejemplo, mediante el uso de indicadores de tensión. Sin embargo, estas otras técnicas requieren aplicar más sensores al robot y, por tanto, más componentes electrónicos para encaminar y procesar

los datos, lo que aumenta el peso y los requisitos energéticos del robot. El documento WO 2014/152418 describe sistemas y dispositivos quirúrgicos robóticos que utilizan sensores de fuerza y/o par de torsión para medir las fuerzas aplicadas en diversos componentes del sistema o dispositivo. Los sensores pueden medir una o más fuerzas aplicadas a uno o más brazos robóticos.

- 5 El documento US 2007/0151391 describe un aparato sensor de fuerza modular para proporcionar detección y retroalimentación de fuerza y par de torsión a un cirujano que realiza cirugía telerroótica. El sensor de fuerza modular incluye una porción de tubo que incluye múltiples indicadores de tensión, una porción de tubo proximal para acoplarse operablemente a un árbol de un instrumento quirúrgico que puede acoplarse operativamente a un brazo manipulador de un sistema quirúrgico robótico, y una porción de tubo distal para acoplarse proximalmente a una articulación de muñeca acoplada a una porción terminal.

10 El documento US 2015/0100066 describe sistemas para la colocación y guiado de herramientas durante un procedimiento quirúrgico. El sistema incluye un brazo robótico portátil con efecto final para el posicionamiento de una herramienta quirúrgica.

15 El documento CN 202146362U describe un brazo mecánico que tiene múltiples grados de libertad para realizar cirugía. El brazo mecánico consta de un cuerpo de brazo, una base, un instrumento quirúrgico y un controlador de red. El instrumento se adapta al cuerpo del brazo. La base sirve para fijar el cuerpo del brazo.

#### Resumen de la invención

La invención se define por el alcance de la reivindicación independiente 1.

Se divulan realizaciones adicionales en las reivindicaciones dependientes.

- 20 La porción terminal puede comprender además un tercer sensor de par de torsión para detectar el par de torsión alrededor del primer eje. La porción terminal puede incluir además un cuarto sensor de par de torsión para detectar el par de torsión en torno al segundo eje.

Adecuadamente, en dicha configuración como se divulga en la reivindicación 1, los ejes tercero y cuarto son transversales entre sí.

- 25 Adecuadamente, en dicha configuración, el tercer y cuarto eje son perpendiculares entre sí. En dicha configuración, el tercer y cuarto eje pueden ser perpendiculares al primer eje. En dicha configuración, el primer y segundo eje son colineales.

Los ejes tercero y cuarto se intersecan entre sí.

- 30 La primera articulación puede ser una articulación revoluta. La segunda articulación puede ser una articulación revoluta. La tercera articulación puede ser una articulación esférica o un par de articulaciones revolutas. La tercera articulación puede ser una articulación universal.

Adecuadamente, los únicos medios de articulación de la fijación con respecto al segmento basal son la primera, segunda y tercera articulaciones.

El accesorio puede estar situado en el primer eje.

- 35 Adecuadamente, el componente robótico quirúrgico está situado en el extremo de un brazo robótico quirúrgico, y un instrumento quirúrgico está acoplado al accesorio. El instrumento quirúrgico puede extenderse en una dirección sustancialmente a lo largo del primer eje.

40 Alternativamente, el componente robótico quirúrgico está situado en el extremo de un instrumento quirúrgico, y un efecto final quirúrgico está acoplado al accesorio. El efecto quirúrgico puede extenderse en una dirección sustancialmente a lo largo del primer eje.

#### Breve descripción de los dibujos

La presente invención se describirá ahora a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos. En los dibujos:

La figura 1 muestra un brazo robótico de la técnica anterior;

- 45 La figura 2 muestra una muñeca robótica de la técnica anterior;

La figura 3 muestra un brazo robótico según una realización de la presente invención con un instrumento quirúrgico acoplado al mismo;

La figura 4 muestra una muñeca quirúrgica. La muñeca se ilustra en tres configuraciones diferentes en las figuras 4a, 4b y 4c;

La figura 5 muestra un instrumento quirúrgico;

La figura 6 muestra otro instrumento quirúrgico; y

La figura 7 muestra un diseño alternativo de un brazo robótico.

#### Descripción detallada

- 5 El brazo robótico quirúrgico de la figura 3 tiene una muñeca en la que dos articulaciones que permiten la rotación sobre ejes generalmente transversales a la porción distal del brazo están situadas entre dos articulaciones que permiten la rotación sobre ejes generalmente paralelos a la porción distal del brazo. Esta disposición permite que el instrumento se mueva en un espacio semiesférico cuya base está centrada en la parte distal del brazo, pero sin requerir el movimiento a alta velocidad de una de las articulaciones para que el efecto final se mueva suavemente, y sin requerir el movimiento de ninguna de las otras partes del brazo.

- 10 En más detalle, la figura 3 muestra un brazo robótico (indicado generalmente como 10) que tiene un instrumento 11 quirúrgico acoplado al mismo. El brazo robótico se extiende desde una base 12. La base podría montarse en el suelo de un quirófano, o en un zócalo fijo, podría formar parte de un carro o carretilla móvil, podría montarse en una cama o podría montarse en el techo de una sala de operaciones. La base se fija en relación 15 con la cama o la silla del paciente cuando se lleva a cabo una operación. El brazo robótico comprende una porción de muñeca mostrada generalmente en 13 y una porción principal mostrada generalmente en 14. La porción principal constituye la mayor parte de la extensión del brazo y termina en su extremo distal en su unión a la porción de la muñeca. El extremo proximal de la porción principal está acoplado a la base. La porción de la muñeca constituye la parte distal del brazo y está acoplada al extremo distal de la porción principal.

- 20 25 La porción principal del brazo comprende cuatro articulaciones 15, 16, 17, 18 y tres secciones 19, 20, 21 de árbol. Las articulaciones son articulaciones revolutas. Las secciones del árbol son rígidas, con la excepción de las articulaciones 15 y 17 que se fijan en las secciones 19 y 20 de árbol respectivamente. Cada sección del árbol puede tener una longitud considerable, y servir para proporcionar al brazo alcance y la capacidad de desplazar la muñeca lateral y/o verticalmente desde la base. La primera sección del árbol podría truncarse con respecto a las secciones segunda y tercera del árbol si la base está situada en un lugar adecuado; en particular, si la base está elevada con respecto al suelo.

La primera sección 19 del árbol está acoplada a la base 12. En la práctica, la primera sección del árbol puede extenderse convenientemente en una dirección generalmente vertical desde la base, pero podría extenderse con una inclinación significativa respecto a la vertical, o incluso horizontalmente.

- 30 35 La articulación 15 está situada en la primera sección del árbol. La articulación 15 permite la rotación relativa de la parte proximal de la primera sección del árbol, que está fijada a la base, y el resto del brazo alrededor de un eje 22. Convenientemente, el eje 22 es paralelo o sustancialmente paralelo a la extensión principal de la primera sección del árbol en la formación del brazo, que va desde la base hacia la articulación 16. Así, convenientemente, el ángulo del eje 22 con respecto a la extensión principal de la primera sección del árbol en la formación del brazo podría ser inferior a 30°, inferior a 20° o inferior a 10°. El eje 22 puede ser vertical o sustancialmente vertical. El eje 22 podría extenderse entre la base y la articulación 16.

- 40 La articulación 16 está situada en el extremo distal de la primera sección 19 del árbol. La articulación 16 permite la rotación relativa de la primera sección 19 del árbol y de la segunda sección 20 del árbol, que está acoplada al extremo distal de la articulación 16, alrededor de un eje 23 que es transversal a la primera sección 19 del árbol y/o a la segunda sección 20 del árbol. Convenientemente, el eje 23 es perpendicular o sustancialmente perpendicular a una o ambas secciones del árbol. Así, convenientemente, el ángulo del eje 23 con respecto a las extensiones principales de una o ambas secciones del primer y segundo árbol podría ser mayor de 60°, mayor de 70° o mayor de 80°. Convenientemente, el eje 23 es perpendicular o sustancialmente perpendicular al eje 22 y/o al eje 24 que se describirá más adelante.

- 45 50 La articulación 17 está situada en la segunda sección del árbol. La articulación 17 permite la rotación relativa de la parte proximal de la segunda sección del árbol y el resto del brazo alrededor de un eje 24. Convenientemente, el eje 24 es paralelo o sustancialmente paralelo a la extensión principal de la segunda sección del árbol. Así, convenientemente, el ángulo del eje 24 con respecto a la extensión principal de la segunda sección del árbol podría ser inferior a 30°, inferior a 20° o inferior a 10°. El eje 24 podría intersecarse o intersecarse sustancialmente (por ejemplo, a menos de 50 mm) con el eje 23 y el eje 25 que se describirá más adelante. En la figura 3 se muestra la articulación 17 situada más cerca del extremo distal de la segunda sección del árbol que del extremo proximal. Esto es ventajoso porque reduce la masa que debe girar en la articulación 17, pero la articulación 17 podría estar situada en cualquier punto de la segunda sección del árbol. La segunda sección del árbol es convenientemente más larga que la primera sección del árbol.

- 55 La articulación 18 está situada en el extremo distal de la segunda sección 20 del árbol. La articulación 18 permite la rotación relativa de la segunda sección del árbol y de la tercera sección 21 del árbol, que está acoplada al extremo distal de la articulación 18, alrededor de un eje 25 que es transversal a la segunda sección

20 del árbol y/o a la tercera sección 21 del árbol. Convenientemente, el eje 25 es perpendicular o sustancialmente perpendicular a cualquiera de las secciones de árbol segunda y tercera, o a ambas. Así, convenientemente, el ángulo del eje 25 con respecto a las extensiones principales de una o ambas de las secciones segunda y tercera del árbol podría ser superior a 60°, superior a 70° o superior a 80°.

5 Convenientemente, el eje 25 es perpendicular o sustancialmente perpendicular al eje 24 y/o al eje 29 que se describirá más adelante.

En resumen, entonces, en un ejemplo la porción principal del brazo puede estar compuesta como sigue, en orden desde la base hasta el extremo distal de la porción principal:

10 1. una primera sección 19 del árbol con una longitud sustancial o insustancial y que contiene una articulación 15 que permite la rotación, por ejemplo, alrededor de un eje generalmente a lo largo de la extensión (si existe) de la primera sección de árbol al formar el brazo (una "articulación de balanceo");

15 2. una articulación 16 que permite la rotación transversal a la primera sección del árbol y/o al eje de la articulación precedente (articulación 15) y/o al eje de la articulación siguiente (articulación 17) (una "articulación de cabeceo");

20 3. una segunda sección 20 del árbol que tiene una longitud considerable y contiene una articulación 17 que permite la rotación alrededor de un eje generalmente a lo largo de la extensión de la segunda sección de árbol y/o al eje de la articulación precedente (articulación 16) y/o a la articulación siguiente (articulación 18) (una articulación de balanceo);

25 4. una articulación 18 que permite la rotación transversal a la segunda sección del árbol y/o a la articulación anterior (articulación 17) y/o a la articulación posterior (articulación 28) (una articulación de cabeceo); y

5. una tercera sección 21 del árbol de longitud considerable.

La porción 13 de muñeca está acoplada al extremo distal de la tercera sección del árbol. La figura 4 ilustra una muñeca quirúrgica, como la porción 13 de muñeca de la figura 1, con más detalle. En la figura 4, 4a muestra la muñeca en una configuración recta, 4b muestra la muñeca en una configuración doblada a partir del movimiento

25 en una articulación 26 y 4c muestra la muñeca en una configuración doblada a partir del movimiento en las articulaciones 26, 27 y 28. La configuración recta representa el punto medio de los movimientos de las articulaciones (26, 27) transversales de la muñeca.

La muñeca se designa 13 en la figura 4. La figura 4 ilustra un ejemplo en el que la muñeca se implementa en el brazo robótico de la figura 3. En esta realización, la parte distal de la tercera sección del árbol se designa

30 21a en la figura 4. La muñeca está acoplada al extremo distal de la tercera sección del árbol mediante una articulación 28. La articulación 28 es una articulación revoluta que permite a la muñeca girar con respecto al extremo distal del brazo alrededor de un eje 29. Convenientemente, el eje 29 es paralelo o sustancialmente paralelo a la extensión principal de la tercera sección del árbol. Así, convenientemente, el ángulo del eje 29 con respecto a la extensión principal de la tercera sección del árbol podría ser inferior a 30°, inferior a 20° o inferior a 10°. El eje 29 podría intersecarse o intersecarse sustancialmente (por ejemplo, dentro de 50 mm) con el eje 25. El eje 29 es convenientemente transversal al eje 25.

En una realización alternativa, la muñeca 13 está implementada en un instrumento quirúrgico. La muñeca se implanta en el extremo distal del instrumento quirúrgico. El extremo proximal del instrumento quirúrgico se fija al brazo robótico. En esta realización, la muñeca está acoplada al árbol del instrumento quirúrgico por la

40 articulación 28. Como en el caso anterior, la articulación 28 es una articulación revoluta que permite a la muñeca girar en relación con el árbol del instrumento alrededor de un eje 29. Convenientemente, el eje 29 es paralelo o sustancialmente paralelo a la extensión principal del árbol del instrumento. Así, convenientemente, el ángulo del eje 29 con respecto a la extensión principal del árbol del instrumento podría ser inferior a 30°, inferior a 20° o inferior a 10°.

45 El extremo proximal de la muñeca está constituido por un bloque 30 de base de la muñeca. El bloque 30 de base de la muñeca está acoplada a la articulación 28. El bloque 30 de base de la muñeca se acopla al extremo distal de la tercera sección 21 del árbol en el caso de que la muñeca esté acoplada al brazo robótico de la figura 3. Alternativamente, el bloque 30 de base de la muñeca se apoya en el extremo distal del árbol del instrumento en el caso de que la muñeca esté acoplada al instrumento quirúrgico. El bloque de base de la muñeca es rígido y consta de una base 33, mediante la cual se acopla a la articulación 28. El bloque de base de la muñeca también comprende un par de brazos 31, 32 espaciados que se extienden desde la base 33 del bloque de base de la muñeca en una dirección que se aleja de la tercera sección 21a del árbol o árbol del instrumento al que está acoplado el bloque de base de la muñeca. Un miembro 34 intermedio está suspendido pivotantemente entre los brazos 31, 32 de tal manera que puede girar en relación con los brazos 31, 32 alrededor de un eje 35. Se trata de una articulación 27 revoluta de la muñeca. El miembro 34 intermedio es convenientemente en forma de un bloque rígido que puede ser de forma cruciforme. Un bloque 36 de cabeza de la muñeca está acoplado al miembro 34 intermedio. El bloque de cabeza de la muñeca es rígido y comprende una cabeza 37 por la que se acopla a una articulación 38 que se describirá más adelante, y un par

de brazos 39, 40 separados que se extienden desde la cabeza 37 hacia el miembro 34 intermedio. Los brazos 39, 40 abrazan el miembro 34 intermedio y están acoplados pivotantemente a él de tal manera que el bloque de cabeza de la muñeca puede girar en relación con el miembro intermedio alrededor de un eje 41. Esto proporciona la articulación 26 revoluta de la muñeca. Los ejes 35 y 41 están desplazados entre sí un ángulo considerable. Los ejes 35 y 41 son convenientemente transversales entre sí, y más convenientemente ortogonales entre sí. Los ejes 35 y 41 pueden intersecarse convenientemente o intersecarse sustancialmente (por ejemplo, dentro de 50 mm). Sin embargo, el miembro intermedio podría tener cierta extensión de modo que esos ejes estén desplazados longitudinalmente. Los ejes 35 y 29 son convenientemente transversales entre sí, y más convenientemente ortogonales entre sí. Los ejes 35 y 29 pueden intersecarse convenientemente o intersecarse sustancialmente (por ejemplo, dentro de 50 mm). Los ejes 35 y 29 pueden intersecar convenientemente el eje 41 en un único punto, o los tres ejes pueden intersecarse sustancialmente en un único punto (por ejemplo, intersecando todos una esfera de radio 50 mm).

De este modo, el bloque de base de la muñeca, el miembro intermedio y el bloque de cabeza de la muñeca forman juntos una articulación universal. La articulación universal permite al bloque de cabeza de la muñeca orientarse en cualquier dirección en una semiesfera cuya base es perpendicular al eje 29 de la articulación 28. El vínculo entre el bloque de base de la muñeca y el bloque de cabeza de la muñeca podría estar constituida por otros tipos de articulación mecánica, por ejemplo, por una articulación esférica o una articulación de velocidad constante. Preferiblemente, dicha articulación actúa en general como una articulación esférica, aunque no es necesario que permita la rotación axial relativa del bloque de base de la muñeca y el bloque de cabeza de la muñeca, ya que dicho movimiento es acomodado por las articulaciones 28 y 38. Alternativamente, las articulaciones 26, 27 y 28 podrían considerarse colectivamente para formar una articulación esférica. Esta articulación esférica podría estar provista de una rótula.

Una unidad 42 terminal está acoplada a la cabeza 37 del bloque de cabeza de la muñeca mediante una articulación 38 revoluta. La articulación 38 permite que la unidad terminal gire con respecto al bloque de cabeza alrededor de un eje 43. Los ejes 43 y 41 son convenientemente transversales entre sí, y más convenientemente ortogonales entre sí. Los ejes 35 y 29 pueden intersecarse convenientemente o intersecarse sustancialmente (por ejemplo, dentro de 50 mm). Los ejes 35 y 29 pueden intersecar convenientemente el eje 41 en un único punto, o los tres ejes pueden intersecarse sustancialmente en un único punto (por ejemplo, intersecando todos una esfera de radio 50 mm).

La muñeca 13 también comprende una serie de sensores de par de torsión, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> y S<sub>4</sub>. Cada sensor de par de torsión está asociado a una articulación y detecta el par de torsión aplicado sobre el eje de rotación de la articulación. S<sub>1</sub> está asociado a la articulación 27 y detecta el par de torsión alrededor del eje 35. S<sub>2</sub> está asociado a la articulación 26 y detecta el par de torsión alrededor del eje 41. S<sub>3</sub> está asociado a la articulación 28 y detecta el par de torsión en torno al eje 29. S<sub>4</sub> está asociado a la articulación 38 y detecta el par de torsión en torno al eje 43. Las salidas de los sensores de par de torsión se transmiten a una unidad de control (no mostrada) donde constituyen las entradas a un procesador (no mostrado). El procesador también puede recibir datos de los motores que accionan las articulaciones detectadas. El procesador resuelve así el par de torsión aplicado a las articulaciones debido al movimiento accionado por los motores y el par de torsión aplicado a las articulaciones debido a fuerzas externas. Todos los sensores de par de torsión S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> y S<sub>4</sub> pueden aplicarse a la muñeca 13. Alternativamente, S<sub>3</sub> y/o S<sub>4</sub> pueden omitirse.

En la implementación en la que la muñeca se encuentra en el extremo distal del brazo robótico de la figura 3, la unidad 42 terminal tiene un conector, como un enchufe o clip, al que se puede acoplar el instrumento 11 quirúrgico. Este instrumento quirúrgico se muestra con más detalle en la figura 5. El instrumento consta de una base 50, un árbol 51 alargado, opcionalmente una o más articulaciones 52 y un efecto 53 final. El efecto final puede ser, por ejemplo, una pinza, unas tijeras, una cámara, un láser o un cuchillo. La base del instrumento y el conector de la unidad 42 terminal están diseñados de manera cooperativa de modo que la base del instrumento se pueda acoplar de manera liberable al conector con el eje extendiéndose lejos de la base del instrumento. Convenientemente el árbol se extiende fuera de la base del instrumento en una dirección que es transversal al eje de la articulación 26 y/o paralelo o sustancialmente paralelo y/o coaxial o sustancialmente coaxial con el eje 43 de la articulación 38. Esto significa que el efecto final tiene una gama sustancial de movimiento en virtud de las articulaciones de la muñeca, y que las articulaciones de la muñeca se pueden utilizar convenientemente para posicionar el efecto final. Por ejemplo, con la elongación del árbol del instrumento que discurre a lo largo del eje 43, la articulación 38 puede utilizarse únicamente para orientar el efecto final sin mover parte o la totalidad del árbol 51 del instrumento con un componente lateral de una forma que podría provocar la alteración del tejido de un paciente a través del cual se ha insertado el árbol para alcanzar un lugar de operación. El hecho de que el alargamiento del árbol del instrumento se extienda fuera de la muñeca como se ha descrito anteriormente significa que la muñeca tiene un grado de articulación similar al de la muñeca de un cirujano humano. Uno de los resultados es que muchas técnicas quirúrgicas practicadas por humanos pueden trasladarse fácilmente a los movimientos de este brazo robótico. Esto puede ayudar a reducir la necesidad de idear versiones específicas para robots de procedimientos quirúrgicos conocidos. El árbol está convenientemente formado como una varilla rígida sustancialmente lineal.

En la descripción anterior, la longitud del bloque 30 de base de la muñeca es menor que la de la sección 21 final del árbol del brazo robótico. Esto es ventajoso porque reduce la masa que debe girar en la articulación 28. Sin embargo, la articulación 28 podría estar situada más cerca de la articulación 25 que de las articulaciones 26 y 27.

- 5 En la realización en la que la muñeca se encuentra en el extremo distal del instrumento quirúrgico, la unidad 42 terminal está conectada a un efecto 53 final. Este instrumento quirúrgico se muestra con más detalle en la figura 6. El instrumento consta de una base 50, un árbol 51 alargado, la muñeca 13 y un efecto 53 final. El efecto final puede ser cualquiera de las formas mencionadas anteriormente. El efecto 53 final y la unidad 42 terminal están diseñados de forma que el movimiento se pueda transferir a través de la unidad 42 terminal al efecto 53 final. Las articulaciones del efecto final pueden accionarse mediante medios motrices en el brazo robótico al que está conectado el instrumento. El movimiento puede transmitirse a las articulaciones a través de cables o enlaces en el brazo robótico y el instrumento.

10 Se apreciará que la muñeca de la figura 4 tiene una redundancia cinemática. El efecto 53 final podría colocarse en una amplia gama de ubicaciones en una semiesfera alrededor del eje 29 simplemente mediante el movimiento de las articulaciones 28 y 27. Sin embargo, se ha descubierto que la adición de la articulación 26 mejora enormemente el funcionamiento del robot con fines quirúrgicos al eliminar la singularidad cinemática que resulta del par 28, 27 de articulaciones por sí solas. La adición de la articulación 26 también simplifica el mecanismo de movimiento del efecto final dentro del paciente, de modo que varios brazos robóticos pueden trabajar más estrechamente entre sí, como se describirá con más detalle a continuación.

- 15 20 Haciendo referencia a la figura 4a, en el caso de que la muñeca 13 se encuentre en el extremo distal de un brazo robótico, cuando se aplica una fuerza 8 verticalmente al instrumento quirúrgico (es decir, perpendicular al eje 41), esto provoca la rotación de la muñeca alrededor del eje 41. Más concretamente, la componente resuelta de una fuerza aplicada en la dirección 8 provoca la rotación de la muñeca alrededor del eje 41. El sensor S<sub>2</sub> de par de torsión detecta este par de torsión y envía el par de torsión detectado al procesador. Cuando se aplica una fuerza 9 lateralmente al instrumento quirúrgico (es decir, perpendicular al eje 35), esto provoca la rotación de la muñeca alrededor del eje 35. Más concretamente, la componente resuelta de una fuerza aplicada en una dirección 9 provoca la rotación de la muñeca alrededor del eje 35. El sensor S<sub>1</sub> de par de torsión detecta este par de torsión, y envía el par de torsión detectado al procesador. Así, las cargas aplicadas al instrumento quirúrgico se miden con la muñeca. Normalmente, una fuerza aplicada al instrumento quirúrgico da lugar a un par de torsión sobre múltiples articulaciones. Cualquier fuerza aplicada al instrumento quirúrgico paralela al plano de los ejes 35 y 41 puede ser detectada por los sensores S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub> de par de torsión. El procesador resuelve las salidas de los sensores S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub> de par de torsión para determinar la dirección y la magnitud del par de torsión aplicado al instrumento quirúrgico.

25 30 35 En el caso de que la muñeca 13 esté en el extremo distal de un instrumento quirúrgico, entonces las fuerzas aplicadas al efecto 53 final son detectables como se describe con respecto al instrumento quirúrgico en el párrafo anterior.

40 45 Cada articulación del brazo robótico de la figura 3 puede ser accionada independientemente de las otras articulaciones por uno o más dispositivos motrices tales como motores eléctricos o pistones hidráulicos. El dispositivo o dispositivos motrices podrían estar situados localmente en la articulación respectiva, o podrían estar situados más cerca de la base del robot y acoplados a las articulaciones mediante acoplamientos como cables o enlaces. Los dispositivos motrices son controlables por un usuario del robot. El usuario podría controlar los dispositivos motrices en tiempo real mediante uno o varios dispositivos de entrada artificiales, como palancas de mando, o mediante entradas derivadas de sensores que actúan sobre un brazo maestro que mueve el usuario. Alternativamente, los dispositivos móviles podrían ser controlados automáticamente por un ordenador preprogramado para realizar un procedimiento quirúrgico. El ordenador podría ser capaz de leer una memoria legible por ordenador que almacena un programa no volátil ejecutable por el ordenador para hacer que el brazo robótico realice uno o más procedimientos quirúrgicos.

50 La figura 7 muestra un diseño alternativo de brazo quirúrgico. El brazo de la figura 7 consta de una base 112, cuatro articulaciones 115, 116, 117, 118, tres secciones 119, 120, 121 de árbol y una unidad 113 de muñeca. Las articulaciones son articulaciones revolutas. Las secciones del árbol son rígidas, a excepción de las articulaciones 115 y 117. Un instrumento 111 quirúrgico se acopla a la parte terminal de la unidad de muñeca.

55 La primera sección 119 del árbol se extiende desde la base 112 y comprende la articulación 115. La primera sección 119 del árbol está acoplado a la segunda sección 120 del árbol mediante la articulación 116. La segunda sección 120 del árbol comprende la articulación 117. La segunda sección del árbol está acoplada a la tercera sección 121 del árbol mediante la articulación 118. La tercera sección 121 del árbol termina en una articulación 128 revoluta por la que se acopla a la unidad 113 de muñeca. La unidad de la muñeca comprende un par intermedio de articulaciones 126, 127 revolutas, que juntas constituyen una articulación universal, y una articulación 138 revoluta terminal.

Al igual que con las articulaciones análogas en el brazo robótico de la figura 3, los ejes de cada uno de los siguientes pares de articulaciones pueden ser independientemente transversales entre sí, sustancialmente ortogonales entre sí (por ejemplo, dentro de cualquiera de 30°, 20° o 10° de ser ortogonales) u ortogonales entre sí: 115 y 116, 116 y 117, 117 y 118, 118 y 128, 128 y 126, 128 y 127, 126 y 138, 127 y 138, 126 y 127.

- 5 Como en el caso de las articulaciones análogas del brazo robótico de la figura 3, los ejes de las siguientes articulaciones pueden estar alineados independientemente con (por ejemplo, dentro de cualquiera de los 30°, 20° o 10° de) o paralelos al eje principal de elongación del árbol en o sobre el que están colocadas: articulación 117 (con sección 120 de árbol), articulación 128 (con sección 121 de árbol). Como en el caso de las articulaciones análogas del brazo robótico de la figura 3, la muñeca puede configurarse de modo que los ejes de las articulaciones 128 y 138 puedan alinearse en una o más configuraciones del brazo. Convenientemente, esa alineación puede ocurrir cuando la muñeca está en el rango medio de su movimiento de lado a lado. Al igual que con las articulaciones análogas en el brazo robótico de la figura 3, convenientemente el eje de elongación del instrumento 111 puede estar alineado con (por ejemplo, dentro de cualquiera de 30°, 20° o 10° de) o paralelo al eje de la articulación 138. El eje de elongación del instrumento puede coincidir con el eje de la articulación 138.

El brazo robótico de la figura 7 difiere del de la figura 3 en que las secciones 119, 120, 121 de brazo están configuradas para que el eje de la articulación 116 tenga un desplazamiento lateral sustancial con respecto a los ejes de las articulaciones 115 y 117 y para que el eje de la articulación 118 tenga un desplazamiento lateral sustancial con respecto a los ejes de las articulaciones 116 y 118. Cada uno de esos desplazamientos puede ser independientemente, por ejemplo, superior a 50 mm, 80 mm o 100 mm. Esta disposición es ventajosa porque aumenta la movilidad del brazo sin aumentar el volumen barrido cerca de la punta del instrumento.

En el brazo robótico de la figura 7, el eje de la articulación revoluta más cercana a la base (articulación 115) está fijado con un desplazamiento importante respecto a la vertical, por ejemplo, de al menos 30°. Esto puede lograrse fijando la base en una orientación adecuada. Si el brazo se configura de modo que el eje de la articulación 115 se dirija generalmente en dirección opuesta al efecto final, como se ilustra en la figura 7, se reduce la posibilidad de que se produzca una singularidad cinemática entre la articulación 115 y la articulación 117 durante una operación.

Así, el brazo de la figura 7 tiene una serie de propiedades generales que pueden ser ventajosas en un brazo robótico quirúrgico.

30 - Comprende una serie de articulaciones revolutas a lo largo de su longitud que incluyen una serie de cuatro articulaciones en orden a lo largo del brazo que alternan entre (a) tener un eje que discurre generalmente hacia la siguiente articulación de la secuencia (una "articulación de balanceo") y (b) tener un eje que discurre generalmente transversal al eje de la siguiente articulación de la secuencia (una "articulación de cabeceo"). Así, el brazo de la figura 7 incluye articulaciones 115 y 117 de balanceo y articulaciones 116 y 118 de cabeceo.  
35 Esta serie de articulaciones puede proporcionar al brazo un alto grado de movilidad sin necesidad de que el brazo sea pesado o voluminoso o comprenda un número excesivo de articulaciones. Como se ha indicado anteriormente, las articulaciones alternas pueden estar desplazadas lateralmente entre sí.

40 - Comprende una sección de muñeca que comienza en una articulación de balanceo (128) y tiene dos articulaciones (126, 127) de cabeceo. Las articulaciones de cabeceo de la muñeca pueden situarse de forma que sus ejes se crucen en todas las configuraciones del brazo. Esta serie de articulaciones puede proporcionar al efecto final un alto grado de movilidad sobre el extremo del brazo.

45 - Sección de la muñeca que termina en una articulación (138) revoluta cuyo eje coincide con el eje de extensión del instrumento quirúrgico. Lo más conveniente es que el árbol del instrumento sea alargado linealmente y que el eje de esa articulación esté alineado con el árbol. Esta disposición puede permitir que el efecto final se gire fácilmente a una orientación deseada mediante el movimiento en una sola articulación sin interrumpir excesivamente un canal de herida en el paciente. Sin esta disposición, habría que controlar que las articulaciones de los brazos se movieran juntas para lograr la rotación del árbol del instrumento sobre su propio eje. Esto requeriría aumentar el espacio de trabajo de una articulación del codo del brazo para permitirle oscilar en todo su rango de movimiento y lograr el movimiento deseado del instrumento. Los grandes espacios de trabajo conjunto no son deseables para el personal de quirófano que trabaja alrededor del brazo robótico. Esta disposición también puede reducir la necesidad de una articulación que realice una función equivalente en el propio instrumento.

50 - Una articulación (115) revoluta proximal que está sustancialmente desplazada de la vertical y más convenientemente dirigida lejos del lugar de la operación en el paciente. Esto reduce la posibilidad de que esa articulación tenga una singularidad cinemática con otra articulación del brazo.

Como se ha comentado anteriormente, la serie proximal de articulaciones en los brazos de las figuras 3 y 7 en orden hacia el extremo distal del brazo son, utilizando los términos definidos anteriormente, rotación, inclinación, articulaciones de rotación y cabeceo. Esta serie de articulaciones puede denominarse RPRP, donde "R" denota una articulación de balanceo, "P" denota una articulación de cabeceo y las articulaciones se

enumeran en serie desde el extremo proximal hacia el extremo distal del brazo. Utilizando la misma terminología, otras secuencias articulares convenientes para los brazos quirúrgicos son las siguientes:

1. PRPRP: es decir, la secuencia de articulaciones del brazo robótico de las figuras 3 y 7 pero con una articulación de cabeceo adicional entre la secuencia de articulaciones RPRP y la base.

5 2. RPRPR: es decir, la secuencia de articulaciones del brazo robótico de las figuras 3 y 7, pero con una articulación de rotación adicional entre la secuencia de articulaciones RPRP y la muñeca.

3. RPRPRP: es decir, una serie de tres pares RP en sucesión, similar a la secuencia de articulaciones del brazo robótico de las figuras 3 y 7, pero con una articulación de cabeceo adicional entre la secuencia de articulaciones RPRP y la base y una articulación de balanceo adicional entre la secuencia de articulaciones RPRP y la muñeca. Se podrían añadir más articulaciones al brazo.

10 Cada uno de estos brazos podría tener una muñeca del tipo mostrado en la figura 3 o 7. Una de las articulaciones 28, 38 podría omitirse de la muñeca.

Como se ha indicado anteriormente, el instrumento quirúrgico de la figura 5 puede tener una o más articulaciones 52 cerca de su punta. Si el brazo robótico es del tipo descrito en el presente documento, el

15 instrumento quirúrgico puede incluir convenientemente sólo dos articulaciones. Convenientemente, pueden ser articulaciones revolutas cuyos ejes discurren transversalmente al árbol 51 del instrumento. Los ejes de dichas articulaciones podrían intersecarse, formando una articulación universal, o podrían estar desplazados en la dirección de alargamiento del árbol del instrumento. Las articulaciones del instrumento podían accionarse por medios motrices en el brazo, y el movimiento se transmitía a las articulaciones a través de cables o enlaces en el instrumento. El conector en la parte terminal de la unidad de muñeca y la base 50 del instrumento puede estar configurado para proporcionar la transmisión de dicho movimiento al instrumento. Convenientemente, las articulaciones del instrumento no incluyen una articulación revoluta cuyo eje esté alineado con el árbol del instrumento. El movimiento que proporcionaría una articulación de este tipo puede realizarse convenientemente mediante la articulación 38 de la muñeca del brazo robótico. En muchas intervenciones quirúrgicas no es necesario este movimiento. Los instrumentos suelen estar destinados a ser desechables, por lo que el coste puede reducirse omitiendo dicha articulación en el instrumento. La omisión de dicha articulación también simplifica la interacción mecánica necesaria entre el instrumento y el brazo, ya que no es necesario transmitir el movimiento de esa articulación al instrumento.

30 Los sensores de par de torsión pueden ser sensores que están en contacto directo con la muñeca. Por ejemplo, se puede utilizar un indicador basado en tensión como sensor de par de torsión. Este se conecta directamente a la parte de la muñeca que se está rotando. A medida que se aplica par de torsión sobre el eje de rotación, el indicador de tensión se deforma y cambia su resistencia. Este cambio de resistencia se mide, por ejemplo, mediante un circuito de puente y se envía al procesador de la unidad de control. El procesador determina el par de torsión aplicado sobre el eje en función del cambio de resistencia.

35 Como otro ejemplo, un indicador de tensión piezoelectrónico puede utilizarse como sensor de par de torsión. De nuevo, esto está conectado directamente a la porción de la muñeca que se gira. El indicador está hecho de un material piezoelectrónico que genera una tensión a través de ella cuando se tensa. Cuando se aplica un par de torsión alrededor del eje de rotación, el indicador de tensión piezoelectrónico se deforma, generando una tensión a través de ella que se mide y se envía al procesador de la unidad de control. El procesador determina el par de torsión aplicado sobre el eje en función del cambio de tensión.

40 Los sensores de par de torsión pueden ser sensores que no estén en contacto directo con la muñeca. Por ejemplo, puede utilizarse un indicador magnetostrictivo como sensor de par de torsión. El material magnetostrictivo se deposita en la porción de la muñeca que se gira. A medida que se aplica el par de torsión en torno al eje de rotación, el material magnetostrictivo sometido a tensión genera un flujo externo. Los sensores situados cerca del material magnetostrictivo, pero no en contacto con la articulación en movimiento, captan la corriente generada y la envían al procesador de la unidad de control. El procesador determina el par de torsión aplicado sobre el eje en función de la corriente generada.

45 La salida de los sensores de par de torsión puede transmitirse a la unidad de control mediante señales que pasan a través de cables conectados externamente a la carcasa del cuerpo del robot. Alternativamente, los cables pueden pasar internamente por los núcleos de los árboles del brazo robótico hasta la unidad de control. Alternativamente, los sensores de par de torsión y la unidad de control pueden ser capaces de comunicaciones inalámbricas. En este caso, las salidas de los sensores de par de torsión son transmitidas de forma inalámbrica por los sensores de par de torsión a la unidad de control.

50 La unidad de control puede implementar un mecanismo de retroalimentación de fuerza para convertir el par de torsión detectado sobre las articulaciones de la muñeca en retroalimentación de fuerza para el cirujano. Por ejemplo, puede utilizarse tecnología háptica para convertir los pares de torsión detectados en sensaciones físicas en los dispositivos de entrada con los que interactúa el cirujano.

En uso operativo, el brazo robótico de la figura 3 podría cubrirse con un campo estéril para mantener el brazo separado o sellado del paciente. Esto puede evitar la necesidad de esterilizar el brazo antes de la cirugía. Por el contrario, el instrumento quedaría expuesto en el lado del paciente del campo: bien porque se extendiera a través de una junta del campo, bien porque el campo estuviera intercalado entre el conector de la parte terminal de la unidad de muñeca y la base 50 del instrumento. Una vez acoplado el instrumento al brazo, puede utilizarse para realizar una operación. Al realizar una operación, el brazo puede manipularse primero de modo que el eje del árbol 51 del instrumento se alinee con el eje entre un punto de entrada deseado en el exterior del paciente (por ejemplo, una incisión en la piel del paciente) y el lugar de la operación deseado. A continuación, el brazo robótico puede manipularse para introducir el instrumento a través de la incisión y avanzar en dirección paralela al eje del árbol del instrumento hasta que el efecto final alcanza el lugar de la operación. Otros brazos robóticos pueden insertar otras herramientas de forma similar. Una vez que las herramientas necesarias se encuentran en el lugar de la operación, ésta puede llevarse a cabo, las herramientas pueden retirarse del cuerpo del paciente y la(s) incisión(es) puede(n) cerrarse, por ejemplo, mediante sutura. Si se desea mover el efecto final en dirección transversal al eje del árbol del instrumento cuando éste se encuentra en el paciente, dicho movimiento se realiza preferentemente girando el árbol del instrumento alrededor de un centro de movimiento situado en la incisión por la que pasa el instrumento. Así se evita agrandar la incisión.

Un brazo robótico del tipo descrito anteriormente puede proporcionar una gama de ventajas para la realización de procedimientos quirúrgicos. En primer lugar, debido a que no incluye un número excesivo de articulaciones y al mismo tiempo proporciona el rango de movimiento necesario para posicionar el instrumento como un todo y particularmente el efecto final del instrumento en una amplia gama de ubicaciones y orientaciones, el brazo robótico puede ser relativamente delgado y ligero. Esto puede reducir la posibilidad de que una persona resulte herida por un movimiento indeseado del brazo, por ejemplo, cuando las enfermeras trabajan alrededor del brazo cuando se está preparando un quirófano para recibir a un paciente. También puede mejorar la accesibilidad de varios de estos brazos a un lugar de operación, especialmente un lugar para un procedimiento como un ENT (oído, nariz y garganta) procedimiento en el que normalmente varios instrumentos deben acceder al sitio de operación a través de una pequeña abertura. Se plantean consideraciones similares, por ejemplo, en los procedimientos abdominales en los que es habitual que múltiples instrumentos entren en el paciente desde una región cercana al ombligo y se extiendan por el interior de la caja torácica hasta el abdomen del paciente; y en los procedimientos en la zona pélvica en los que la dirección en la que los instrumentos pueden acercarse al lugar de la operación está limitada por la necesidad de evitar el hueso pélvico y otras estructuras internas. De manera similar, un brazo con un rango de movimiento mejorado puede facilitar el posicionamiento de las bases de múltiples robots alrededor de un sitio de operación porque el personal quirúrgico tiene más libertad sobre dónde colocar las bases de los robots. Esto puede ayudar a evitar la necesidad de rediseñar los flujos de trabajo existentes en la sala de operaciones para dar cabida a un robot. En segundo lugar, el brazo proporciona suficiente movimiento redundante para que el personal quirúrgico tenga flexibilidad a la hora de colocar la base del robot en relación con el paciente. Esto es importante si varios robots tienen que trabajar en una zona quirúrgica pequeña, si hay equipos adicionales en el quirófano o si el paciente tiene unas dimensiones inusuales. En tercer lugar, cuando la sección de la muñeca comprende una articulación de balanceo situada proximalmente a un par de articulaciones de cabeceo de eje cruzado, como en la figura 4, y en particular si además el brazo y el instrumento están configurados de modo que el árbol del instrumento se extienda directamente fuera de esas articulaciones de cabeceo, entonces el movimiento de la muñeca se aproxima al de un ser humano, lo que facilita la traslación de los procedimientos quirúrgicos convencionales para que puedan ser realizados por el robot. Esta relación entre la muñeca y el instrumento también ayuda a permitir que múltiples brazos se approximen entre sí cerca de un sitio quirúrgico, ya que las secciones terminales de los miembros del brazo principal (por ejemplo, 21 y 121) pueden estar en ángulo con respecto al árbol del instrumento sin comprometer la libertad de movimiento del árbol del instrumento. Esto se debe en parte a que cuando el efecto final debe moverse dentro del paciente mediante rotación alrededor de un centro situado en el punto externo de entrada del árbol del instrumento en el paciente, esa rotación puede ser proporcionada exclusivamente por la muñeca, sin verse obstaculizada por singularidades cinemáticas o interacciones complejas entre múltiples articulaciones que tienen ejes desplazados espacialmente, mientras que el resto del brazo se limita a trasladar la muñeca a la ubicación requerida. Cuando el robot está bajo control informático, el programa para el ordenador puede definirse de forma que haga que el robot traslade la ubicación del efecto final mediante la rotación del efecto final alrededor de un punto a lo largo del árbol del instrumento. Ese punto puede coincidir con la incisión en el paciente o ser distal a la misma. El programa puede ser tal que logre dicha traslación del efecto final ordenando al (a los) conductor(es) motriz(es) de la muñeca que haga(n) que las articulaciones 26 y/o 27 giren el instrumento alrededor del punto y ordenando simultáneamente al (a los) conductor(es) motriz(es) del resto del brazo que haga(n) que la muñeca se traslade.

A la vista de la descripción anterior, será evidente para un experto en la materia que pueden realizarse diversas modificaciones dentro del alcance de la invención, tal como se define en las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Un componente robótico quirúrgico que comprende una porción terminal articulada, la porción terminal que comprende:
  - un segmento (42) distal con un accesorio conectado al mismo;
  - 5 un segmento (30) intermedio;
  - un segmento (21a) basal por el que la porción terminal se acopla al resto del componente (14) robótico quirúrgico;
  - 10 una primera articulación (38) entre el segmento distal y el segmento intermedio, permitiendo la primera articulación (38) la rotación relativa del segmento (42) distal y del segmento (30) intermedio alrededor de un primer eje (43);
  - una segunda articulación (28) entre el segmento (30) intermedio y el segmento (21a) basal, permitiendo la segunda articulación (28) la rotación relativa del segmento (30) intermedio y del segmento (21a) basal alrededor de un segundo eje (29) y caracterizada porque
    - el segmento (30) intermedio comprende:
    - 15 una tercera articulación (26,27) que permite la rotación relativa del segmento (42) distal y del segmento (21a) basal alrededor de los ejes tercero (41) y cuarto (35);
    - un primer sensor ( $S_2$ ) de par de torsión para detectar el par de torsión en torno al tercer eje (41); y
    - un segundo sensor ( $S_1$ ) de par de torsión para detectar el par de torsión alrededor del cuarto eje (35); y
    - 20 las articulaciones primera, segunda y tercera están dispuestas de tal manera que en una configuración recta de la porción terminal:
      - los ejes primero (43) y segundo (29) son colineales;
      - los ejes tercero (41) y cuarto (35) son transversales al primer eje (43);
      - los ejes tercero y cuarto son transversales entre sí; y
      - los ejes tercero y cuarto se cruzan entre sí.
  - 25 2. Un componente robótico quirúrgico según la reivindicación 1; la porción terminal comprende además un tercer sensor ( $S_4$ ) de par de torsión para detectar el par de torsión en torno al primer eje (43).
  - 3. Un componente robótico quirúrgico según las reivindicaciones 1 o 2, comprendiendo la porción terminal además un cuarto sensor ( $S_3$ ) de par de torsión para detectar el par de torsión en torno al segundo eje (29).
  - 4. Un componente robótico quirúrgico según cualquier reivindicación anterior, en el que en dicha configuración los ejes tercero (41) y cuarto (35) son perpendiculares al primer eje (43).
  - 30 5. Un componente robótico quirúrgico como el reivindicado en cualquier reivindicación precedente, en el que la primera articulación (38) y/o la segunda articulación (28) es una articulación revoluta.
  - 6. Un componente robótico quirúrgico según cualquier reivindicación anterior, en el que la tercera articulación (26,27) es una articulación esférica o un par de articulaciones revolutas y/o una articulación universal.
  - 35 7. Un componente robótico quirúrgico según cualquier reivindicación anterior, en el que los únicos medios de articulación del accesorio con respecto al segmento (21a) basal son las articulaciones primera (38), segunda (28) y tercera (26,27).
  - 8. Un componente robótico quirúrgico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el accesorio está situado en el primer eje (43).
  - 40 9. Un componente robótico quirúrgico según cualquier reivindicación anterior, estando situado el componente robótico quirúrgico en el extremo de un brazo (10) robótico quirúrgico, y comprende además un instrumento (11) quirúrgico acoplado al accesorio.
  - 10. Un componente robótico quirúrgico según la reivindicación 9, en el que el instrumento (11) quirúrgico se extiende en una dirección sustancialmente a lo largo del primer eje (43).

11. Un componente robótico quirúrgico según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8; el componente robótico quirúrgico está situado en el extremo de un instrumento (11) quirúrgico, y comprende además un efecto quirúrgico final acoplado al accesorio.

12. Un componente robótico quirúrgico según la reivindicación 11, en el que el efecto final quirúrgico se extiende en una dirección sustancialmente a lo largo del primer eje (43).

5

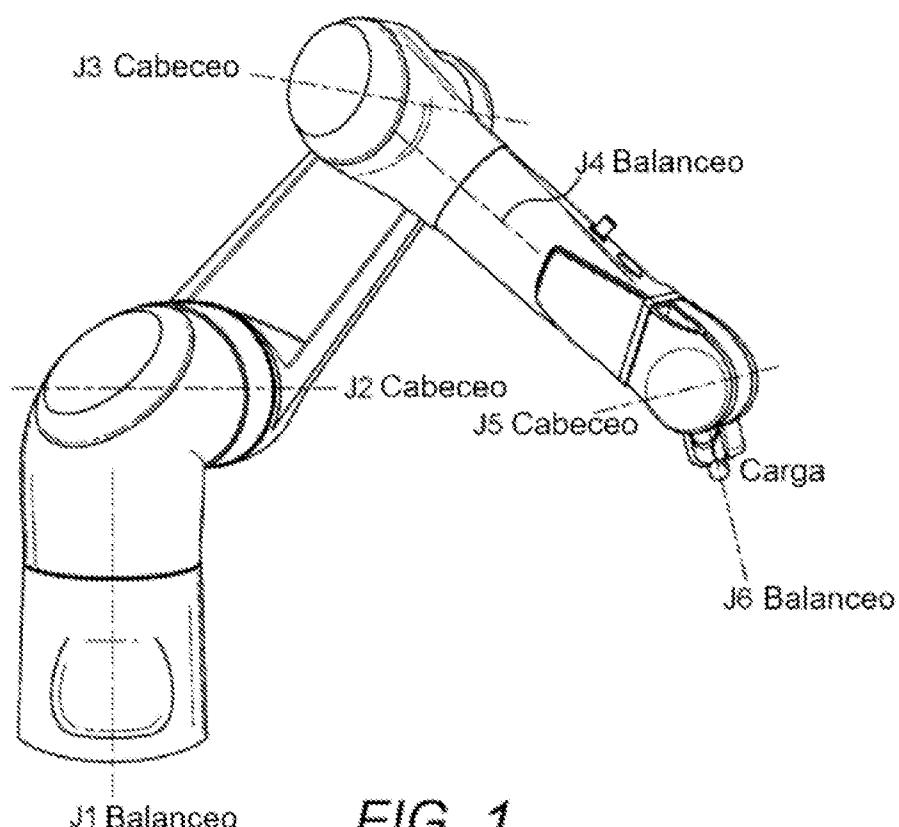


FIG. 1

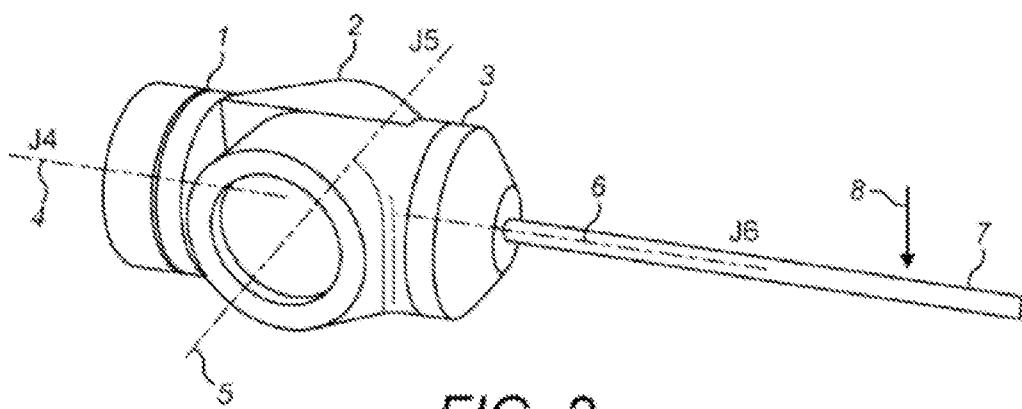


FIG. 2

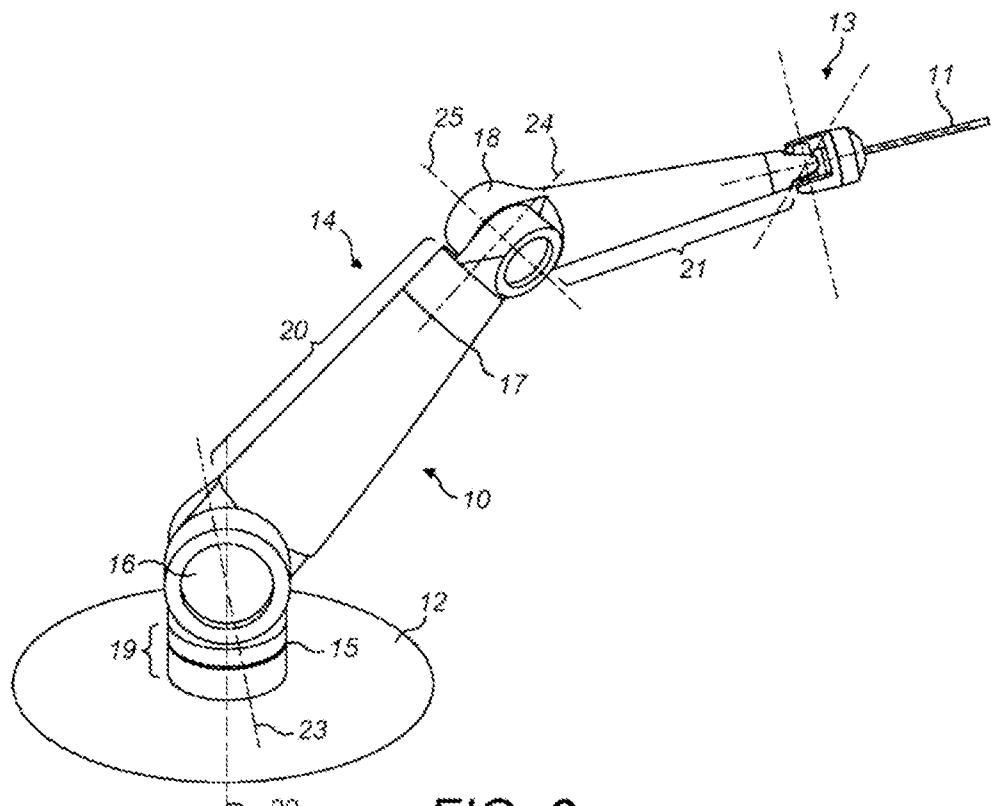


FIG. 3

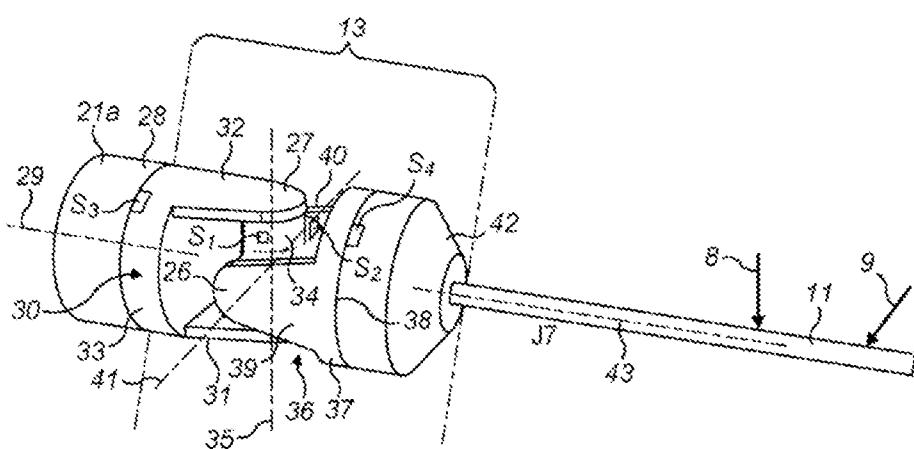


FIG. 4a

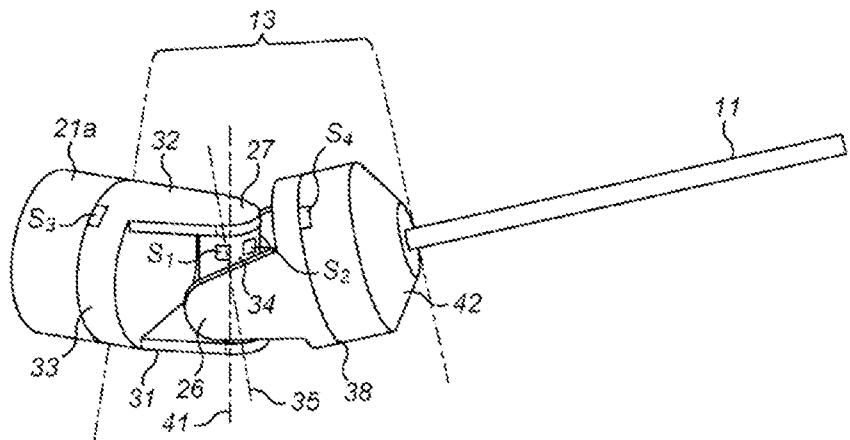


FIG. 4b

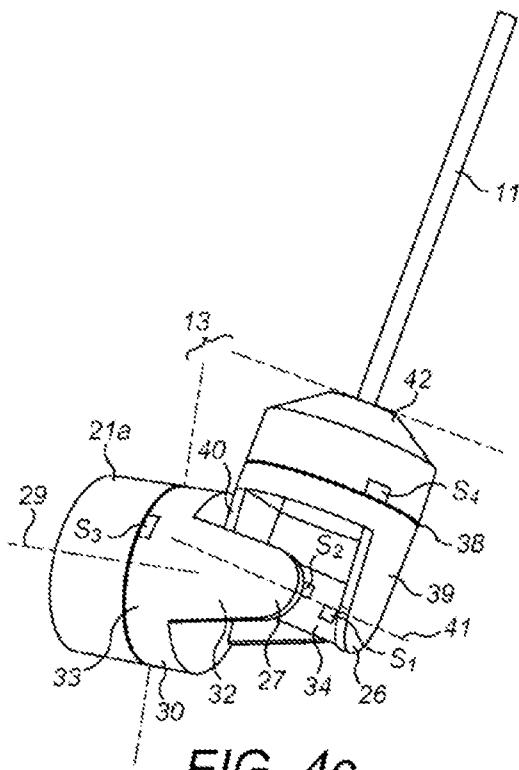


FIG. 4c

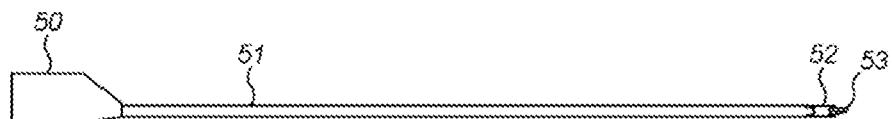


FIG. 5

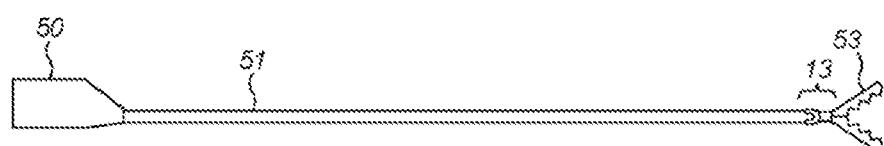


FIG. 6

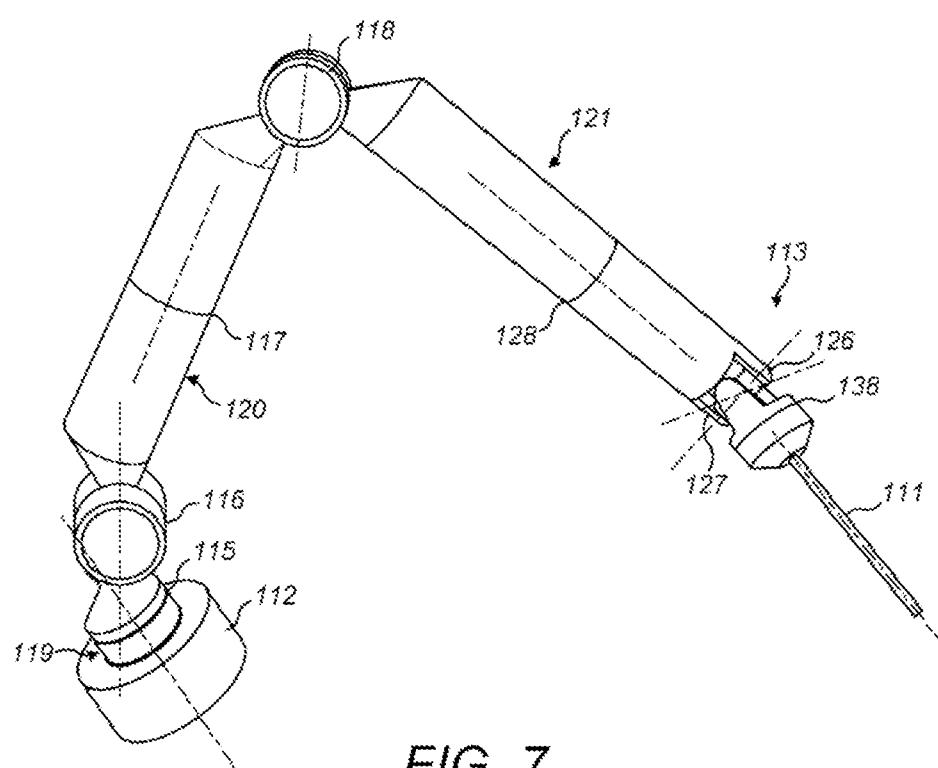


FIG. 7