



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 334 780**

51 Int. Cl.:
B25J 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03291149 .7**

96 Fecha de presentación : **16.05.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1364755**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **26.11.2003**

54 Título: **Exoesqueleto para un brazo humano, particularmente para aplicaciones espaciales.**

30 Prioridad: **22.05.2002 FR 02 06253**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.03.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.03.2010

73 Titular/es: **ORGANISATION
INTERGOUVERNEMENTALE DITE AGENCE
SPATIALE EUROPEENNE
8-10 rue Mario-Nikis
75738 Paris Cédex 15, FR**

72 Inventor/es: **Schiele, Andre y
Visentin, Gianfranco**

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 334 780 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

Exoesqueleto para un brazo humano, particularmente para aplicaciones espaciales.

5 La invención se refiere a un exoesqueleto para un brazo humano.

La invención se aplica de forma más particular, aunque no exclusivamente, en tecnologías espaciales.

10 En primer lugar, es útil recordar el significado del término “exoesqueleto”, más particularmente tal como se utiliza en el marco de la invención.

15 “Exoesqueleto” es un término utilizado originalmente en biología para designar la envuelta de soporte externo de un animal. Por ejemplo, los artrópodos tienen un exoesqueleto externo de quitina en lugar de un esqueleto interno. En los últimos tiempos, el término también se ha asociado a dispositivos estructurales que estarán conectados alrededor de miembros de personas.

20 Aún más recientemente, una nueva categoría de dispositivos se ha añadido a la familia de los exoesqueletos: se trata de mecanismos utilizados, por ejemplo, para aumentar las capacidades de ejecución humanas, en robótica o también en interacciones de realidad virtual. Otras posibles aplicaciones de estos mecanismos se detallarán a continuación.

25 Para fijar las ideas, en lo sucesivo nos situaremos en el marco de la aplicación preferida de la invención, a saber la aplicación en tecnologías espaciales. De forma aún más precisa, se considerará el caso del control remoto de un robot de tipo humanoide que opera en el exterior de una estación espacial, por ejemplo la estación espacial internacional. Puede tratarse, en este marco de aplicación, del robot llamado “Eurobot” que se supone que proporciona un medio muy preciso y hábil de intervención para la inspección, el mantenimiento y la distribución de material en el entorno fuertemente hostil del espacio. El robot está equipado con tres brazos cinemáticamente semejantes a los brazos humanos (es decir particularmente dotados de siete grados de libertad). Durante la mayor parte del tiempo, el robot está programado para realizar las tareas preestablecidas, pero en algunos casos el robot debe ser controlado a distancia:

- 30
- por astronautas en el interior de la estación espacial, o
 - directamente por operadores que permanecen en tierra.

35 En los dos casos, la necesidad de manipulaciones muy precisas impuso la utilización de técnicas llamadas de inmersión. Para ello, el operador lleva gafas de vídeo, guantes con retorno de fuerza y uno o más exoesqueleto(s) de brazo para sentir las sensaciones del robot, es decir las que habría sentido si hubiera realizado él mismo las tareas realizadas por el robot.

40 La necesidad de crear un exoesqueleto compatible con operadores en tierra o astronautas no está exenta de limitaciones. En efecto, es necesario realizar un sistema ligero (típicamente de menos de 5 kg), compacto y fácil de llevar.

Los exoesqueletos del estado de la técnica sufren generalmente diversos inconvenientes y/o insuficiencias, tales como las siguientes:

- 45
- Imposibilidad de sentir todos los movimientos del brazo humano y de obtener fuerzas y pares de retroacción, esto sin limitar la gama normal de movimientos humanos del brazo. Es particularmente necesario obtener informaciones sobre la posición del hombro, del codo y de la muñeca.
 - 50 - Dificultad de realizar un sistema realmente “portátil”, lo que significa que los movimientos del operador no deberían estar limitados durante la utilización (girar alrededor de un objeto, inclinarse, caminar, etc.).
 - Adaptación limitada, lo que no permite, por ejemplo, utilizar el mismo exoesqueleto, sin modificación importante, para un porcentaje elevado de la población masculina, típicamente en un intervalo que abarca del 5% al 95%.
- 55

60 Más exactamente, los exoesqueletos de brazo humanos deben superar un problema principal, a saber la imitación de la cinemática de las articulaciones humanas complejas de hombro, de codo y de muñeca. La dificultad en la imitación resulta del hecho de que estas articulaciones están estrechamente envueltas, con sus ejes de rotación desplazándose con la postura cambiante del brazo. Los exoesqueletos de acuerdo con el estado de la técnica han intentado abordar el problema del hombro mediante el empleo de un mecanismo que descansa sobre la parte superior trasera del hombro humano. Las imperfecciones de este enfoque pueden encontrarse en el volumen y la masa del mecanismo. Éste descansa su peso además también sobre el brazo. En lo que respecta a la muñeca, también se han utilizado soluciones masivas.

65 En general, se constata también que, en los mecanismos de exoesqueleto conocidos, las articulaciones complejas de cinemática del brazo humano se simplifican y se asemejan a articulaciones con un solo grado de libertad, llamado en lo sucesivo “DOF” (por “*Degree Of Freedom*”, de acuerdo con la terminología anglosajona utilizada habitualmente)

ES 2 334 780 T3

con el fin de simplificar la descripción. El inconveniente de esta solución es que el movimiento normal del brazo llamado “maestro” (que impone las acciones) resulta perturbado y no es posible una sensación de comodidad, durante el funcionamiento del brazo llamado “esclavo” (retroacción de fuerza).

5 Sin que esto sea exhaustivo, a continuación se describirán brevemente algunas soluciones conocidas y se mostrarán sus límites.

La Patente de Estados Unidos US 4 575 297 A (Hans Richter) describe un robot que comprende una placa pectoral, un miembro superior de brazo, un miembro inferior de brazo que tiene unidades de dedo y de pulgar en las que se insertan los miembros humanos. Un operador humano, al que se conectan estos miembros de robot, se sienta sobre una estructura de sostén tal como una silla móvil. Los miembros de robot, sus longitudes, las articulaciones entre los miembros y los ejes comunes corresponden a los del operador humano. Cada articulación está asociada a un dispositivo sensor motor hidráulico. La parte robótica de hombro está limitada a movimientos alrededor de dos ejes. Otro eje permite la flexión o la extensión del codo. Un eje paralelo al eje del antebrazo permite la rotación del antebrazo. En la muñeca, un empalme articulado, que es paralelo a la articulación articulada del codo, proporciona el medio para un movimiento humano de muñeca.

El mecanismo de exoesqueleto enseñado por la patente mencionada anteriormente copia la cinemática normal de un brazo humano. Cada articulación accionada está controlada por gatos hidráulicos, que se montan directamente al lado de las articulaciones. La gama de movimientos permitida es relativamente limitada. En particular, no es posible un movimiento sin repercusiones.

La Patente de Estados Unidos US 5 967 580 A (Mark E. Rosheim) se refiere a un par de articulaciones conectadas y a medios de generación de fuerza para su empleo en sistemas robóticos esclavos. La patente se refiere a un manipulador mecánico antropomorfo, que proporciona algunas de las posibilidades de un tórax humano y de las posibilidades de movimiento semejantes a las del pecho, del hombro, del brazo, de la muñeca y de las manos de un ser humano. De nuevo, la estructura cinemática del robot descrito en la patente mencionada anteriormente recuerda a la estructura cinemática de un brazo humano. De ello resulta que se desea proporcionar un manipulador mecánico que se parece al tórax humano superior y al brazo, y que puede estar provisto de posibilidades de movimientos prácticamente equivalentes a las del tórax y del brazo humano superior. Una estructura mecánica proporciona el medio para colocar las manos de un operador.

Puede utilizarse un mecanismo de contrapartida como exoesqueleto para controlar el robot esclavo, pero no está optimizado para este uso como tal. Pueden proporcionarse datos de fuerza táctil en retroacción solamente a la parte del exoesqueleto equivalente a la mano. Los dos mecanismos son equivalentes a la estructura superior humana del miembro en términos de cinemática (parámetros de los miembros y de las articulaciones). Cada eje de rotación está controlado directamente por los motores lineales de corriente continua. Solamente una gama muy limitada de movimientos humanos normales de brazo puede abarcarse con el mecanismo de exoesqueleto descrito. Como se ha indicado anteriormente, la retroacción de fuerza solamente es posible sobre la mano humana, siendo esta característica el objeto principal de esta patente.

La Patente de Estados Unidos US 6 301 526 A (Mun Sang Kim *et al.*) se refiere a título principal a un dispositivo que tiene una función de fuerza de retroacción y que se monta sobre un brazo humano. Éste puede reenviar en retroacción una información de límite de funcionamiento mediante la utilización de los frenos motores. El dispositivo principal es una configuración en cadena, de tipo en serie, fijada a la espalda de un operador. Segundos y terceros medios de combinación están fijados por encima y por debajo del codo, al igual que un cuarto medio de combinación está fijado en una parte trasera de la mano. Siete ejes de exoesqueleto comprenden unidades de freno eléctricas para generar pares. Unidades de determinación de la posición, así como unidades de caja de cambio de velocidad para amplificar los pares, están asociadas a las unidades de accionamiento.

La base de la cadena cinemática está fijada a la espalda del operador y no al pecho. El movimiento del exoesqueleto puede estar influido únicamente por frenos eléctricos pasivos, que solamente puede utilizarse para atenuar los movimientos normales del brazo humano.

La Solicitud de Patente Internacional WO 95/32842 A2 (AN, Bin) se refiere a un sistema que tiene el mismo grado de libertad que el brazo humano, y que debe estar fijado, por lo tanto, estrechamente al brazo humano. El sistema es también cinemáticamente equivalente al brazo de un operador. El exoesqueleto está fijado a la espalda del operador y cualquier componente que forme interfaz con el cuerpo humano es ajustable. De ello resulta que cualquier fallo de alineamiento entre el operador y el sistema impone restricciones cinemáticas a las articulaciones humanas y causa una gran incomodidad y una molestia para un movimiento anatómico normal. Esta invención se refiere principalmente al problema de la fijación al operador, problema que se ha resuelto con las características de diseño particulares.

La cinemática se limita a únicamente cinco grados de libertad. Los movimientos de la cintura del hombro, como los movimientos de la muñeca, no son nunca discernibles ni controlables. Cada eje es accionado directamente por un dispositivo con motor de corriente continua, que se monta cerca de un eje común de articulación apropiado. Debido a su estructura cinemática muy simplificada, hay que considerar que muchos de sus componentes deben ajustarse. La base del exoesqueleto está fijada a una parte superior de la espalda del operador.

ES 2 334 780 T3

El documento D1 "*An Arm Exoskeleton System for Teleoperation and Virtual Environments Applications*" (M. Bergamasco *et al.*) - Robotics and Automation, 1994 Proceedings 1994 IEEE International Conference, San Diego, Ca, USA 8 a 13 de mayo de 1994, Los Alamitos, Ca, USA, IEEE Comput. Soc páginas 1449-1454, describe un sistema de exoesqueleto de brazo para aplicaciones de funcionamiento a distancia y de entorno virtual que comprende un sistema de retorno de fuerza externo compuesto por siete grados de libertad y un exoesqueleto que envuelve al conjunto del brazo y soportado, por medio de una estructura pectoral diseñada para ello, por los hombros y el tronco del operador humano. Cada articulación del exoesqueleto es accionada por medio de servomotores de corriente continua y el movimiento de cada articulación se obtiene gracias a un sistema de transmisión basado en la tensión de los tendones.

Se constata que los exoesqueletos de la técnica conocida, de los cuales se acaban de describir algunos, presentan limitaciones importantes y no permiten responder enteramente a las necesidades que se hacen notar, particularmente para las aplicaciones espaciales. Los exoesqueletos de acuerdo con la técnica conocida están, en su mayor parte, basados en un mecanismo que pretende imitar o aproximarse de la mejor forma a la cinemática de los miembros humanos. Finalmente, como surgirá de la descripción de la invención a continuación, los mecanismos de los exoesqueletos de acuerdo con la técnica conocida presentan diferencias estructurales importantes con el mecanismo empleado en la invención.

Este objeto se consigue mediante un exoesqueleto que posee las características de la reivindicación 1.

La invención pretende, todo a la vez, paliar los inconvenientes de los dispositivos de la técnica conocida, y de los cuales se acaban de recordar algunos, y responder a las necesidades que se hacen notar, y que también se han recordado.

La invención se fija como objetivo un exoesqueleto para un brazo humano que presenta, particularmente, todos los grados de libertad de éste, que sea ligero, portátil, aunque no limite los movimientos del operador, adaptable a un gran porcentaje de la población, sin modificaciones sensibles, que permita sentir todos los movimientos del brazo humano, que no limite la gama de movimientos naturales y sea cómodo.

Para ello, y de forma práctica, la estructura de un exoesqueleto de acuerdo con la invención presenta las siguientes características esenciales:

El exoesqueleto de brazo de acuerdo con la invención se parece, en lo que respecta a su base de soporte, a una mitad de una parte superior de una armadura. El exoesqueleto comprende dos placas pectorales rígidas (anterior y posterior) y una manga articulada. Las placas pectorales están fijadas al tórax del operador mediante correas o cualquier medio apropiado equivalente. La placa anterior sirve como base estructural a una cadena de articulaciones que articula la manga. Ésta proporciona una referencia fija para cualquier movimiento del exoesqueleto. La placa posterior soporta motores que desplazan las articulaciones de manga. Los motores y las articulaciones están unidos por una serie de tendones flexibles que los accionan.

El exoesqueleto de acuerdo con la invención presenta varias características técnicas ventajosas.

De acuerdo con una primera característica importante, la cinemática propia de un exoesqueleto de acuerdo con la invención está diseñada de forma específica. No se ha realizado ninguna tentativa de imitar la cinemática del hombro, del codo y/o de la muñeca humanos. Por el contrario, una cadena alternativa de cinemática con dieciséis grados de libertad, que ofrece la misma libertad de movimiento, se dispone paralelamente a las articulaciones humanas. Esta cadena y las articulaciones humanas forman un bucle cinemático cerrado que:

- para el hombro comienza en la unión del brazo (en el esternón), se extiende por encima de las articulaciones y de los extremos escapulo-clavicular y gleno-humeral y termina en medio del húmero;
- para el codo comienza en medio del húmero y termina en medio del antebrazo; y
- para la muñeca comienza en medio del antebrazo y termina en medio de la palma de la mano.

Aunque la cinemática paralela del exoesqueleto sea diferente de la del brazo, cada postura de las articulaciones humanas puede determinarse de forma unívoca mediante la postura correspondiente de la cadena de cinemática del exoesqueleto.

Las ventajas aportadas por este enfoque son muchas y pueden resumirse de la siguiente manera:

- El peso del sistema no es soportado por el brazo sino por el tórax.
- La gama completa de movimientos de hombro, de codo y de muñeca es posible.
- Las propias articulaciones son más sencillas y más reducidas.
- No es necesario alinear los ejes de las articulaciones humanas con las del exoesqueleto: de ello resulta que no es necesario ningún procedimiento de ajuste largo y complejo antes de que el exoesqueleto sea operativo.

ES 2 334 780 T3

La base del exoesqueleto es una parte del cuerpo humano. Por consiguiente, el exoesqueleto puede diseñarse como un sistema portátil que proporciona más flexibilidad para los movimientos generales del operador. Mediante la utilización de un controlador portátil del exoesqueleto, los controles remotos en ingravidez, o como mínimo en micro-gravedad, se simplifican mucho porque ninguna fuerza resultante sobre el cuerpo del operador puede provocar un movimiento que lo aleje de la estación de control. Como ejemplo, si se utilizan palancas de fuerza de retroacción, del tipo “joysticks” (de acuerdo con la terminología anglosajona), éstas crean fuerzas contra el cuerpo del astronauta, que le empujan lejos de la palanca. Por consiguiente, debe conectarse en un entorno apropiado y, de este modo, se limitan sus posibilidades operativas.

Una segunda característica importante se debe a que todas las articulaciones accionadas en el exoesqueleto (es decir no pasivas) están controladas por transmisiones con tendones de cable. En la técnica conocida, se recurre habitualmente a órganos de control eléctricos montados directamente sobre el exoesqueleto. Estas disposiciones hacen al exoesqueleto voluminoso, pesado y exigen un gran número de unidades de control precisamente para poder acomodar un peso elevado. La utilización de los tendones de cable de acuerdo con la invención permite colocar las unidades de control sobre una placa posterior del exoesqueleto. El peso de los órganos de control es, por lo tanto, soportado por el tórax. El resultado obtenido es un brazo extremadamente ligero que puede estar controlado por órganos de control más pequeños.

Una tercera característica importante se refiere a la posible adaptación del exoesqueleto de acuerdo con la invención a diferentes sujetos humanos. En efecto, sus características estructurales específicas, que se detallarán a continuación, permiten la posible adaptación del brazo maestro a prácticamente cualquier sujeto humano (intervalo de porcentajes mencionado anteriormente). Los ajustes necesarios para adaptar el exoesqueleto pueden realizarse mientras se lleva y se limitan típicamente a apretar dos tornillos u órganos equivalentes, como también se mostrará a continuación.

La invención tiene, por lo tanto, como objeto principal un exoesqueleto de brazo que adquirirá datos representativos de movimientos de las articulaciones de brazo de un cuerpo humano con ayuda de sensores de medición y/o que aplicará pares con ayuda de unidades de activación asociadas a al menos una parte de dichas articulaciones, comprendiendo dicho exoesqueleto un primer dispositivo que tiene la conformación de una manga, que se colocará alrededor de al menos uno de dichos brazos, para formar una cadena cinemática de articulaciones dispuesta paralelamente a dichas articulaciones de brazo, comprendiendo dicho dispositivo un primer subconjunto llamado exoesqueleto de hombro que comprende un primer número determinado de articulaciones asociadas a las articulaciones de hombro de dicho cuerpo humano, un segundo subconjunto llamado exoesqueleto de codo que comprende un segundo número determinado de articulaciones asociadas a las articulaciones de codo de dicho cuerpo humano y un tercer subconjunto llamado exoesqueleto de muñeca que comprende un tercer número determinado de articulaciones asociadas a las articulaciones de muñeca de dicho cuerpo humano, siendo la suma de los primer, segundo y tercer números determinados de articulación igual a dieciséis, para permitir dieciséis grados de libertad, y estando dichas unidades de activación controladas por tendones flexibles que discurren a lo largo de dichos subconjuntos, estando dichos primer a tercer subconjuntos mecánicamente disociados para poder estar controlados individualmente por dichos tendones flexibles, y comprendiendo dicho exoesqueleto un segundo dispositivo, que forma soporte, portado por el tórax de dicho cuerpo humano, que comprende una placa rígida anterior, llamada pectoral, y una placa rígida posterior, llamada de espalda, en la que está fijado dicho exoesqueleto de hombro en su extremo proximal a dicha placa anterior, proporcionando ésta una referencia fija para cualquier movimiento de dicho exoesqueleto.

La invención también tiene por objeto la aplicación de un exoesqueleto de brazo al control remoto de un robot de tipo humanoide que opera en el exterior de una estación espacial, provisto de brazos artificiales y que realiza tareas bajo el control de un operador humano, colocándose dicho exoesqueleto de brazo alrededor de al menos uno de sus brazos, recibiendo dicho robot datos que fuerzan la ejecución de movimientos en relación biunívoca con movimientos de dicho brazo y transmitiendo datos llamados de retroacción que fuerzan la ejecución de movimientos de todas o parte de dichas articulaciones de dicho exoesqueleto de brazo y que conllevan movimientos correspondientes de dicho brazo.

La invención se describirá a continuación de forma más detallada remitiéndonos a los dibujos adjuntos, entre los cuales:

- las figuras 1A y 1B ilustran esquemáticamente un ejemplo de realización de un exoesqueleto de brazo de acuerdo con la invención portado por un operador, en vista anterior y posterior, respectivamente;

- la figura 2 es una vista en despiece ordenado que ilustra los tres subconjuntos principales de un exoesqueleto de acuerdo con una realización preferida de la invención: los subconjuntos de muñeca, de codo y de hombro, respectivamente;

- la figura 3A ilustra de forma más detallada el subconjunto de muñeca del exoesqueleto de la figura 2, en vista anterior, portado por la mano de un operador;

- la figura 3B es una representación esquemática, en tres dimensiones, que ilustra las diferentes articulaciones asociadas al subconjunto de muñeca del exoesqueleto de la figura 3A y sus ejes de rotación;

- las figuras 3C1 a 3C3 ilustran un primer órgano del subconjunto de muñeca del exoesqueleto de la figura 3A, en tres dimensiones, en vista lateral y un corte de la figura 3C2, respectivamente;

ES 2 334 780 T3

- las figuras 3D1 a 3D3 ilustran un primer órgano del subconjunto de muñeca del exoesqueleto de la figura 3A, en tres dimensiones, en vista desde arriba y un corte de la figura 3D2, respectivamente;
- 5 - las figuras 3E1 a 3E3 ilustran un tercer órgano del subconjunto de muñeca del exoesqueleto de la figura 3A, en tres dimensiones, en vista lateral y un corte de la figura 3E2, respectivamente;
- las figuras 3F1 a 3F3 ilustran un cuarto órgano del subconjunto de muñeca del exoesqueleto de la figura 3A, en tres dimensiones, en vista desde arriba y un corte de la figura 3F2, respectivamente;
- 10 - las figuras 3G1 a 3G3 ilustran un quinto órgano del subconjunto de muñeca del exoesqueleto de la figura 3A, en tres dimensiones, en vista lateral y un corte de la figura 3G2, respectivamente;
- las figuras 3H1 a 3H3 ilustran un sexto órgano del subconjunto de muñeca del exoesqueleto de la figura 3A, en tres dimensiones, en vista anterior y un corte de la figura 3H2, respectivamente;
- 15 - la figura 4A ilustra de forma más detallada el subconjunto de codo del exoesqueleto de la figura 2, en el espacio en vista anterior, colocado alrededor del brazo de un operador y conectado a su codo;
- la figura 4B es una representación esquemática, en tres dimensiones, que ilustra las diferentes articulaciones asociadas al subconjunto de codo del exoesqueleto de la figura 4A, y sus ejes de rotación;
- 20 - las figuras 4C1 y 4C2 ilustran de forma más detallada, en vistas lateral y desde arriba respectivamente, el haz de tendones y la unidad de precarga del subconjunto de codo de las figuras 4A y 4B;
- 25 - las figuras 4D1 a 4D3 ilustran de forma más detallada, los órganos de una de las articulaciones del subconjunto de codo del exoesqueleto de las figuras 4A y 4B, en vistas lateral y desde arriba respectivamente, en tres dimensiones, en vista superior y un corte de la figura 4D2, respectivamente;
- las figuras 5A y 5B ilustran de forma más detallada el subconjunto de hombro del exoesqueleto de la figura 2, colocado alrededor del brazo de un operador y conectado a su hombro, en vista de tres cuartos desde arriba y vista anterior, respectivamente;
- 30 - la figura 5C es una representación esquemática, en tres dimensiones, que ilustra las diferentes articulaciones asociadas al subconjunto de hombro del exoesqueleto de las figuras 5A y 5B, y sus ejes de rotación;
- 35 - la figura 5D ilustra, en vista posterior, el mecanismo de pretensado de tendones asociado al subconjunto de hombro del exoesqueleto de las figuras 5A y 5B;
- las figuras 5E1 a 5E3 ilustran de forma más detallada un primer órgano del subconjunto de hombro del exoesqueleto de las figuras 5A a 5D, en tres dimensiones, en vista superior y un corte de la figura 5E2, respectivamente;
- 40 - las figuras 5F1 a 5F4 ilustran de forma más detallada un segundo órgano del subconjunto de hombro del exoesqueleto de las figuras 5A a 5D, constituido por una articulación telescópica, en estado extendido, en vistas lateral y en corte, y en estado comprimido, en vista lateral y en corte, respectivamente;
- 45 - la figura 5F5 ilustra un detalle de la articulación telescópica de las figuras 5F1 a 5F4;
- las figuras 5G1 a 5G3 ilustran de forma más detallada un tercer órgano del subconjunto de hombro del exoesqueleto de las figuras 5A a 5D, en tres dimensiones, en vista superior y un corte de la figura 5G2, respectivamente;
- 50 - las figuras 5H1 y 5H2 ilustran de forma más detallada un tercer órgano del subconjunto de hombro del exoesqueleto de las figuras 5A a 5D, que comprende una almohadilla hinchable, en tres dimensiones y en corte, respectivamente;
- 55 - las figuras 6A a 6C ilustran esquemáticamente el mecanismo de activación de articulaciones del exoesqueleto de acuerdo con la invención por medio de tendones de cable
- la figura 6D ilustra esquemáticamente el mecanismo de activación de la articulación telescópica de las figuras 5F1 a 5F5; y
- 60 - las figuras 7A y 7B ilustran, en corte sagital, órganos de fijaciones de almohadilla hinchable para el brazo y el antebrazo, respectivamente.
- En lo sucesivo, como se ha indicado y sin limitar en modo alguno su alcance, nos situaremos en adelante en el marco de la aplicación preferida de la invención, es decir en el caso de las operaciones de control remoto por un operador (un astronauta por ejemplo) de un robot espacial, de tipo humanoide que opera en el exterior de una estación espacial, llevando el operador un exoesqueleto de brazo de acuerdo con la invención.
- 65

ES 2 334 780 T3

El robot, como tal, no forma parte directamente de la invención y no se ha representado en las figuras. *A priori*, puede emplearse cualquier robot de la técnica conocida en el marco de la invención, sin necesitar éstas modificaciones.

De forma bien conocida en sí misma, para aplicaciones de este tipo, se prevén habitualmente comunicaciones de datos entre el robot y una estación fija, en la estación espacial y/o la tierra, incluso directamente entre el robot y un sistema de tratamiento de datos asociado al exoesqueleto. Puede utilizarse cualquier medio de transmisión bidireccional de datos, ventajosamente medios de emisión/recepción radioeléctricos.

Los datos “de ida” consisten en órdenes transmitidas al robot para accionarlo, esto en función de movimientos particulares que el operador imprime al exoesqueleto. El robot reproduce los movimientos del exoesqueleto. En sentido inverso, éste envía datos que se denominarán de “retroacción” que permiten al operador “sentir físicamente” las fuerzas y pares a los que se somete el robot, y no solamente “visualmente”, por ejemplo siguiendo las tareas ejecutadas por el robot en una pantalla de visualización.

Esta retroacción sobre el operador es muy importante ya que permite, por ejemplo, dosificar de forma precisa las fuerzas y pares mencionados anteriormente ejercidos por el robot teleguiado.

A continuación, se describirá un ejemplo práctico de un exoesqueleto de brazo de acuerdo con una realización preferida de la invención en referencia a las figuras 1A a 7B. En estas figuras, los elementos idénticos llevan las mismas referencias y solamente se describirán en caso necesario.

Las figuras 1A y 1B ilustran esquemáticamente un ejemplo de exoesqueleto de brazo *EXB* de acuerdo con una realización preferida de la invención y sus principales componentes. El exoesqueleto de brazo *EXB* se representa portado por un operador *U*, en vista anterior (figura 1A) y vista parcial posterior (figura 1B), respectivamente.

Como se ha indicado anteriormente, el exoesqueleto de brazo *EXB* propiamente dicho comprende tres subconjuntos principales: un subconjunto de muñeca 1, un subconjunto de codo 2 y un subconjunto de hombro 3, respectivamente. Estos tres subconjuntos, 1 a 3, se dedican a la detección de movimientos relativos de la muñeca *P*, del codo *C* y del hombro *E* de un operador *U* y al accionamiento de las articulaciones asociadas. Éstos forman una manga colocada alrededor de uno de sus brazos, por ejemplo el brazo derecho *Bd*.

En las figuras 1A y 1B, los subconjuntos 1 a 3, del exoesqueleto de brazo *EXB* se representan colocados alrededor del brazo derecho *Bd* del operador *U*, ya que se supone que éste es diestro. Naturalmente, el dispositivo de acuerdo con la invención no se limita en absoluto a esta característica. Puede colocarse también alrededor del brazo izquierdo *Bg* del operador *U* o, alrededor de los dos brazos, sin salir del marco de la invención.

Estos tres subconjuntos, 1 a 3, forma una cadena cinemática, cuyas características específicas se describirán a continuación. Esta cadena se representa de forma más detallada en despiece ordenado en la figura 2.

De acuerdo con otra característica importante de la invención, la cadena cinemática mencionada anteriormente, más exactamente, por el subconjunto de muñeca 1, está fijada a un guante 5 colocado alrededor de una de las manos o alrededor de las dos, *M* del operador, en el presente caso alrededor de su mano derecha.

De acuerdo con otra característica importante más de la invención, la cadena cinemática mencionada anteriormente, más exactamente, por el subconjunto de hombro 3, está fijada al tórax *TH* del operador *U*, con ayuda de una base de soporte 4.

En una realización preferida, la base de soporte 4, se parece a una mitad de una armadura. Ésta comprende dos placas pectorales rígidas: anterior 40 (figura 1A) y posterior 41 (figura 1B). Las placas pectorales, 40 y 41, están fijadas al tórax *TH* del operador *U* mediante correas 42, o cualquier medio apropiado equivalente. La placa anterior 40 sirve como base estructural a la cadena de articulaciones de los subconjuntos 1 a 3. Ésta proporciona una referencia fija para cualquier movimiento del exoesqueleto de brazo *EXB*.

De acuerdo con otra característica importante más de la invención, los diferentes subconjuntos 1 a 3, de la cadena cinemática mencionada anteriormente están unidos entre sí. Haces de tendones flexibles 7 del tipo de cable accionan articulaciones particulares asociadas a los subconjuntos 1 a 3, articulaciones llamadas “activas” y son accionados en su totalidad por motores *Mt* (figura 1B).

En realidad, los tendones flexibles están constituidos por dos tipos de elementos distintos; cables propiamente dichos y fundas de tipo espiral que guían a los cables en toda o parte de sus longitudes. En las figuras, la parte visible de los haces 7 está constituida esencialmente por las fundas.

Es con ayuda de las articulaciones activas mencionadas anteriormente que podrán imprimirse fuerzas y/o pares de retroacción al exoesqueleto de brazo *EXB*, para que las sienta el operador *U*.

Hay dos haces de cables diferentes, que se denominarán arbitrariamente “haz N° 1” y “haz N° 2”. Un primer haz lleva desde la espalda del operador *U* hasta una unidad de precarga en el subconjunto de hombro 3 y, finalmente, desde

ES 2 334 780 T3

allí a lo largo de la estructura a la unidad de carga inicial del montaje de codo y desde allí más lejos hasta la muñeca *P*. El segundo haz lleva directamente desde la espalda hasta las articulaciones antes de penetrar en una unidad de precarga en la base del exoesqueleto *EXB*.

5 Por el contrario, otras articulaciones, llamadas “pasivas” que pueden, sin embargo, estar asociadas a sensores de movimiento, permiten los movimientos del brazo humano *Bd* del operador *U*, eventualmente los detectan y transmiten datos de movimiento correspondientes, pero no ejercen ni fuerza ni par sobre el brazo humano *Bd*. Como ejemplo, los sensores a los que se hace referencia en Ca_{16} , Ca_{21} en Ca_{23} , Ca_{31} en Ca_{36} , 218 y 226, se representaron en diferentes figuras adjuntas a la presente descripción.

10 La placa posterior 41 soporta los motores mencionados anteriormente *Mt*. Como se ilustra mediante la figura 1B, se ha supuesto que los motores *Mt* (no se representan explícitamente) estaban dispuestos en el interior de una carcasa 6 fijada a la placa 41. De forma ventajosa, se utilizan motores de corriente continua.

15 La carcasa 6 está unida particularmente a la cadena cinemática, y más particularmente al subconjunto de hombro 3, por el haz de tendones 7.

20 La carcasa 6 comprende también circuitos de emisión-recepción de datos y de instrucciones que comunican directamente con el robot a controlar a distancia o mediante una estación intermedia (no representada).

25 Los motores *Mt* accionan una o más articulaciones de los subconjuntos 1 a 3 actuando sobre los tendones flexibles correspondientes del haz 7, de la manera que se precisará a continuación.

A continuación se detallará de forma más precisa la cadena cinemática.

30 En su totalidad, el brazo maestro del exoesqueleto *EXB* comprende dieciséis articulaciones, y por lo tanto dieciséis grados de libertad o “DOF”. Cada eje está equipado con un sensor de ángulo para obtener informaciones sobre los ángulos (movimiento de rotación alrededor de un eje particular) de articulación.

35 Las articulaciones se agrupan, como se ha recordado, en tres subconjuntos:

- el subconjunto de muñeca 1 (que comprende seis “DOF”);
- el subconjunto de codo 2 (que comprende cuatro “DOF”); y
- el subconjunto de hombro 3 (que comprende seis “DOF”).

40 La figura 2 ilustra un conjunto en despiece ordenado de estos tres mecanismos, 1 a 3, unidos mediante un haz de tendones flexibles 7.

45 De acuerdo con una de las características esenciales de la invención, el brazo maestro no está diseñado para imitar la disposición de las articulaciones humanas, sino para unir las mediante una cadena cinemática alternativa de articulaciones dispuesta por encima del miembro humano: brazo *Bd* en el ejemplo descrito. Cada uno de estos tres subconjuntos, 1 a 3, representa por lo tanto una estructura alternativa para la muñeca *P*, el codo *C* y el hombro *E* (figura 1A).

A continuación se describirán de forma más detallada los tres subconjuntos, 1 a 3, de la cadena cinemática del exoesqueleto de brazo *EXB*. Por razones de facilidad de descripción, se comenzará por el subconjunto de hombro 3.

50 Las figuras 5A y 5B ilustran el subconjunto de hombro 3, en vista anterior y superior de tres cuartos, respectivamente. En estas figuras, la cabeza del operador *U* no se representa y el haz de tendones flexibles 7 está cortado. También se hará referencia a éste en las figuras en detalle 5E1 a 5H2.

55 Este subconjunto 3 incluye seis ejes de articulación, cinco de tipo llamado rotoide y uno de tipo llamado prismático. La figura 5C es una vista isométrica que ilustra, en tres dimensiones, las posiciones relativas de estos seis ejes, de referencias Δ_{31} a Δ_{36} , para una postura particular del codo *C* del operador *U*, en un momento dado. Las articulaciones correspondientes tienen las referencias “articulación 31” a “articulación 36”.

60 El subconjunto 3 está diseñado para realizar los mismos movimientos que los del hombro humano *E*, aunque los cinco “DOF” del hombro humano *E* estén simulados por un mecanismo con seis “DOF”.

Gracias a estas disposiciones, el movimiento del exoesqueleto de hombro 3 no está limitado, ni en amplitud ni en facilidad.

65 La base del exoesqueleto de hombro 3 proporciona la base completa de la ligadura en serie del exoesqueleto de brazo *EXB* y está sujeta a la placa rígida pectoral 40 que está atada alrededor del tórax *TH* del operador *U* con ayuda de las correas 42. La sujeción se realiza mediante una pieza de fijación 33, que sirve como ligadura padre para la primera articulación del exoesqueleto *EXB*.

ES 2 334 780 T3

El extremo distal del mecanismo 3 está situado en la base de la parte superior del brazo *BS* del operador *U*, donde se fija por medio de una almohadilla hinchable 30 que, a su vez, está rodeada por una pieza anular rígida 31.

5 A excepción de la tercera articulación “*articulación 33*”, de eje Δ_{33} , que es de tipo prismático, todas las demás articulaciones son de tipo rotoide. Las primera y segunda articulaciones, “*articulación 31*” y “*articulación 32*”, de ejes respectivos Δ_{31} y Δ_{32} , son activas y accionadas por tendones flexibles 731’ y 732’ respectivamente, en fundas de guía 731 y 732, que forman parte del haz de tendones 7.

10 Su rotación se realiza mediante la tracción de tendones que están fijados mediante poleas a los ejes de las articulaciones correspondientes, como se mostrará a la luz de la descripción a continuación. Más exactamente, estas articulaciones son accionadas cada una por un par de tendones, lo que permite movimientos, en el sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario.

15 Para una descripción más detallada del sistema, nos remitiremos a las figuras. La primera articulación “*articulación 31*” alrededor del eje Δ_{31} , que es una articulación de rotación, es activada por un par de dos tendones 731, que pertenecen al “haz N° 2” mencionado anteriormente. Esta articulación combina la pieza de fijación 33 con el primer órgano de una ligadura “*ligadura 31*”. La ligadura “*ligadura 31*”, que es la ligadura hija de la articulación “*articulación 31*” comprende una polea 312 que está fijada a un árbol giratorio 313, el cual está conectado por encima de rodamientos de bolas a la pieza de fijación 33. El árbol 313 está también unido rígidamente a una placa circular 314, que se atornilla 20 bajo dos paredes laterales 315 y 316. Debido a la función de la articulación “*articulación 31*”, todos los órganos de la primera ligadura “*ligadura 31*” pueden girar alrededor de la pieza de fijación 33, alrededor del eje Δ_{31} . La segunda articulación “*articulación 32*”, que es otra articulación de rotación alrededor del eje Δ_{32} conecta la ligadura “*ligadura 31*” a la ligadura hija de la articulación “*articulación 32*”, llamada “*ligadura 32*”. Esta ligadura comprende otro árbol 322 que está fijado en rotación a las paredes laterales 315 y 316. El par de tendones 732’ atraviesa una unidad 320 de precarga y está fijado a la polea 323. Dos paredes laterales, 324 y 325, se atornillan juntas a una brida telescópica 326. El árbol 322 está centrado en una zona media de estas paredes laterales por medio de rodamientos de bolas que permiten la rotación de la ligadura “*ligadura 32*” en su totalidad alrededor del árbol mecánico 322 y, de este modo, 25 alrededor del eje común Δ_{32} . La polea 323 está fijada rígidamente a las paredes laterales e induce de este modo el movimiento de la ligadura “*ligadura 32*” alrededor de la ligadura “*ligadura 31*”, cuando los tendones 732’, en sus fundas 732, tiran o empujan.

La articulación “*articulación 33*”, de tipo prismático y de eje Δ_{33} , está provista de un tubo telescópico *F* (figura 6D) que se prolonga por un muelle de pretensado *SP*.

35 El muelle *SP* es del tipo llamado helicoidal. Un tendón 733’ conectado al extremo del tubo, que discurre a su través, permite al tubo telescópico retraerse mediante contracción del muelle. Antes de atravesar el tubo telescópico, el tendón atraviesa la unidad de precarga 320.

40 Una ligadura fija de la articulación telescópica “*articulación 33*” está constituida por un primer tubo telescópico 332 y está combinada con una brida 326. Una ligadura móvil, “*ligadura 33*”, comprende un sistema de tubos telescópicos *F* y extremos distales de una brida telescópica 333 que están sujetos a una pieza intermedia 335. Por medio de un muelle de compresión 334, la brida telescópica distal 333 se precarga contra la brida telescópica 326. Si el tendón 733’ se opone a la fuerza del muelle *SP*, causa un movimiento de contracción de los tubos telescópicos a lo largo del eje común Δ_{33} . La articulación “*articulación 34*”, que es una articulación pasiva de tipo rotoide, combina la ligadura 45 “*ligadura 33*” con la ligadura “*ligadura 34*”. Por medio de la articulación “*articulación 34*”, la ligadura “*ligadura 34*” puede girar alrededor del eje Δ_{34} .

50 La ligadura “*ligadura 34*” comprende un árbol 341 que se conecta, por medio de rodamientos de bolas radiales, a una pieza intermedia 335, que permite la rotación alrededor del eje Δ_{34} . El eje Δ_{34} se atornilla a una pieza 342 en forma de “U”, que porta en los dos extremos distales dos placas suplementarias, 343 y 345. Estas placas encierran rodamientos de bolas de rotación alrededor del eje Δ_{35} , así como placas superiores, 344 y 346 respectivamente.

55 La quinta articulación, “*articulación 35*”, que también es una articulación de rotación pasiva, permitiendo la ligadura “*ligadura 34*” con la ligadura “*ligadura 35*” la rotación alrededor del eje Δ_{35} . La ligadura comprende dos piezas colineales a los ejes de los árboles 351 y 354, que están fijadas a un anillo externo 353 por medio de bridas de fijación.

60 De este modo, la brida de fijación 352 fija el árbol 351 en el anillo externo 353, y la brida de fijación 355 fija el árbol 354 en el fondo del anillo 353, respectivamente. Los dos árboles atraviesan los rodamientos de bolas, que se mantienen entre la placa 343 y la placa superior 344, y la placa 345 y la placa superior 346, respectivamente.

La articulación “*articulación 36*”, de eje Δ_{36} , es activa y se utiliza para imponer una rotación de la parte superior del brazo *BS*.

65 Un par de tendones 736’, que proviene de la espalda del operador *U*, atraviesa el anillo externo 353 sin tocarlo y está conectado a un anillo interno 362, que tiene la función de una polea hueca. Este anillo interno 362, que es un órgano de la ligadura “*ligadura 36*” está conectado a otro anillo circular 31, que porta almohadillas hinchables 30. El anillo circular 31 está unido al anillo externo 353 por medio de rodamientos de bolas de sección reducida, permitiendo la rotación alrededor del eje Δ_{36} . El anillo brida 363 se atornilla sobre el anillo 31 y otro órgano de la ligadura “*ligadura*

ES 2 334 780 T3

36". De este modo, la articulación "articulación 36", que puede engancharse mediante los tendones 736', permite un movimiento radial de la ligadura "ligadura 36" en el interior del anillo externo 353 y, de este modo, en el interior de la ligadura "ligadura 35", alrededor del sexto eje de articulación Δ_{36} .

5 Las tres articulaciones "articulación 34" a "articulación 36" tienen sus ejes, Δ_{34} a Δ_{36} , que se cortan en un punto único que les permite actuar como articulación común esférica simple en el extremo distal del subconjunto 3.

La figura 5D es una vista isométrica, en vista posterior, que ilustra, en tres dimensiones, el sistema de precarga 8 con sus órganos 80 de pretensado de los tendones del haz 7.

10 Por medio de este sistema, los tendones, que son guiados en el interior de las fundas, pueden pretensarse sometiendo la funda externa a compresión.

La figura 6C descrita de forma más detallada la configuración general de dicha unidad de precarga 8.

15 Cada unidad de precarga en el diseño del exoesqueleto *EXB* comprende dispositivos semejantes.

A continuación, se proporcionará una descripción general de los componentes implicados y de su función. Un armazón rígido, que establece una referencia fija, denominado en lo sucesivo *CR*, se utiliza para fijar tornillos C_1 de precarga de los tendones. Los tornillos C_1 son huecos y dejan que los atraviesen los tendones, a los que se les da arbitrariamente la referencia 700'. La funda 700, que guía a los tendones 700', es intersectada en el punto en el que se coloca la unidad de precarga y los extremos de intersección 700a de las fundas acaban en la superficie externa de los tornillos de precarga C_1 . Como los extremos distales de las fundas se detienen en puntos cercanos a la unidad de activación en 700bI (haciendo tope contra la placa de detención *BA*) y cerca de la unidad de motorización, en 700bII, la funda 700 se comprime desde el momento en que se hace girar a los tornillos de precarga C_1 en el sentido de las agujas del reloj. Esta compresión aumenta en las fundas en espiral 700 que rodean a los tendones 700' y las tensa. Estos tendones están colocados dentro de las fundas, lo que conlleva una precarga de los tendones.

20 Los cinco "DOF" del brazo humano y los seis "DOF" del subconjunto de exoesqueleto de hombro 3 forman un bucle cinemático cerrado cuyas propiedades son las siguientes:

- puede realizarse la gama completa de movimientos del hombro humano *E*; y
- todas las articulaciones humanas (incluso las escapulo-claviculares) pueden detectarse y accionarse.

35 A continuación se describirá de forma más detallada el subconjunto de base 2, en referencia a las figuras 4A a 4D3.

La figura 4A ilustra más exactamente, en vista posterior, el subconjunto de codo 2. Éste comprende cuatro ejes de articulación.

40 La figura 4B es una vista isométrica que ilustra, en tres dimensiones, las posiciones relativas de estos cuatro ejes, Δ_{21} a Δ_{24} , para una postura particular del codo *C* del operador *U*, en un momento dado. Las articulaciones correspondientes tienen las referencias "articulación 21" a "articulación 24".

45 En la parte izquierda de la figura 4A, se han representado dos tubos telescópicos gemelos, 200 y 202 respectivamente, ajustables en longitud, que proporcionan el medio para adaptar la longitud del exoesqueleto al brazo superior humano *BS*. La longitud puede ajustarse bloqueando dos órganos de tornillo, 201 y 203 respectivamente, uno para cada tubo, 200 y 202. No es necesario ningún otro ajuste.

50 Los primeros extremos de los tubos telescópicos, 200 y 202, están sujetos a una pieza anular 204, que rodea al brazo superior *BS*, es decir por encima del codo. Cuando el exoesqueleto *EXB* está montado, esta pieza anular está sujeta rígidamente al anillo 363 del subconjunto de hombro 3. Los segundos extremos están sujetos a una pieza 205, en forma de herradura, que también rodea al brazo superior *BS*.

55 Estos dos anillos, que se ensamblan por medio de tubos telescópicos, constituyen una parte de la unidad de ajuste. Dos piezas suplementarias están unidas a esta unidad: dos placas de articulación de base para la articulación "articulación 21". La placa de base lateral 206 está montada rígidamente sobre el anillo 205 y porta los árboles 207 que establecen una parte de la articulación común "articulación 21". La placa de base media 208 también está unida al anillo 205 en su lado proximal, y porta otro árbol 209 que, con el árbol 207, constituyen los medios mecánicos para la rotación alrededor del eje Δ_{21} de la articulación "articulación 21". La unidad de ajuste de la articulación construye la ligadura padre para la articulación "articulación 21". La ligadura hija de esta articulación, la ligadura "ligadura 21", comprende otro anillo 210, que tiene forma de una herradura. La placa lateral 212 está sujeta en su lado distal al lado proximal del anillo 210. En su lado proximal, la placa lateral 212 está montada sobre el árbol 207 por medio de rodamientos de bolas que permiten un movimiento radial. Además, una polea 213 está fijada a la placa lateral 212, para el accionamiento de la ligadura "ligadura 21" alrededor de la articulación "articulación 21" de eje Δ_{21} . Los tendones 721, que provienen del haz de cables 7 atraviesan la placa de base lateral 206 y están fijados a la polea 213. De este modo, mediante el accionamiento de estos tendones, puede influirse sobre o inducirse movimientos del codo *C* del

ES 2 334 780 T3

operador *U*. La placa media 214 también está fijada en el lado proximal del anillo 210. El lado proximal de la placa media 214 está montado por medio de rodamientos de bolas sobre el eje 209, que es colineal al eje 207, que permite a la ligadura “*ligadura 21*” girar alrededor del eje Δ_{21} . Dos tubos huecos 215 y 216 están conectados al lado distal del anillo 210. Estos tubos sirven de ligadura padre a la articulación prismática común “*articulación 22*”.

5 La unidad de precarga del antebrazo 217 está fijada a estos tubos huecos 215 y 216 por medio de tornillos. En la figura 4A, los tendones que atraviesan la unidad de precarga no se representan. En las figuras 4C1 y 4C2, se han representado los tendones del haz de cables 7 que entran en la unidad de precarga, no estando representados los tendones salientes. La ligadura “*ligadura 21*” y la ligadura “*ligadura 22*” forman la articulación “*articulación 22*” que es una articulación pasiva y prismática. La ligadura “*ligadura 22*” comprende dos vástagos masivos 221 y 222, que son colineales y concéntricos a los tubos huecos, 215 y 216, para adaptarse exactamente al recinto interno de los tubos huecos y, de este modo, para formar un sistema telescópico de tubos. Los vástagos masivos, 221 y 222, son móviles en el interior de los tubos huecos 215 y 216. En el lado distal, los dos tubos, 221 y 222, se conectan a una pieza 220, que es un tramo de anillo. Esta pieza 220, en su lado proximal, une los dos vástagos masivos y, en su lado distal, está conectada a una pieza 224, en forma de “T”, que porta un pequeño árbol 225. Por medio de los tubos telescópicos, la ligadura “*ligadura 22*” puede desplazarse linealmente a lo largo del eje Δ_{22} , con respecto a la ligadura “*ligadura 21*”.

10 La unidad de precarga porta un sensor lineal 218, cuya parte móvil está fijada a una placa 223. Esta placa está fijada a los tubos masivos, 221 y 222, por medio de tornillos. De este modo, cuando la ligadura “*ligadura 22*” está en movimiento a lo largo del eje común Δ_{22} , la pieza móvil del sensor lineal se desplaza al mismo tiempo que la placa 223.

15 La ligadura “*ligadura 22*”, que es una ligadura móvil en la articulación “*articulación 22*”, es al mismo tiempo la ligadura padre para la articulación “*articulación 23*”.

20 Las figuras 4D1 y 4D3 describen los órganos de la articulación “*articulación 23*” de forma más detallada, respectivamente en el espacio, y en corte “MM” de la figura 4D2. La pieza 224, en forma de “T”, porta un árbol fijo 225, en el que están montados dos rodamientos de bolas, 226 y 227; en las partes laterales 226 y media 227, respectivamente, de la pieza 224 en forma de “T”.

25 La ligadura móvil en la articulación “*articulación 23*” es la ligadura “*ligadura 23*” que puede realizar una rotación pasiva alrededor del eje Δ_{23} de la articulación “*articulación 23*”. Esta ligadura comprende un anillo metálico externo 230, que está unido a una pieza brida 231 en su fondo. Esta pieza brida 231 se atornilla entre dos placas de lado, una media 232 y una lateral 233, respectivamente. Estas placas de lado, 233 y 232, están unidas al exterior de los rodamientos de bolas, 227 y 226, respectivamente, permitiendo de este modo la rotación alrededor del árbol 225.

30 La ligadura hija, “*ligadura 24*”, de la articulación “*articulación 24*”, que es una parte móvil, comprende un anillo rígido 240, que encierra una almohadilla hinchable 28, y una polea hueca 241, que está conectada al lado proximal del anillo rígido 240. Los tendones 724’ que están guiados a lo largo de las fundas 724, atraviesan el anillo externo 230 y están fijados a la polea hueca 241 (como muestran las figuras 3H1 a 3H3). El anillo rígido 240 está centrado en el interior del anillo externo 230, por medio de un rodamiento de bolas 242 de sección reducida, que permite la rotación del anillo 240 alrededor del eje Δ_{24} en el interior del anillo externo 230. Esta rotación es inducida por el movimiento relativo de los tendones 724’. Estos tendones 724’ están sujetos a la polea 241 y a las fundas 724 que están bloqueadas mecánicamente fuera del anillo externo 230, esto por medio de piezas de detención 234. De este modo, por medio de los tendones 724’, la ligadura “*ligadura 24*” puede desplazarse alrededor del eje Δ_{24} de la articulación “*articulación 24*”, conllevando una pronación o una supinación del antebrazo *AB* del operador *U*.

35 La necesidad de una cinemática aparentemente compleja, comparada con la sencillez también aparente de la articulación de codo, se justifica a continuación.

40 En efecto, no puede considerarse la articulación humana de codo *C* como una bisagra pura, en el sentido en que la posición de su eje oscila durante los movimientos. Por consiguiente, la utilización en un exoesqueleto de un simple “1 DOF” común, para imitar la flexión de codo no puede conducir a resultados precisos y causa fricciones en el mecanismo, ya que los dos ejes de rotación no coinciden nunca.

45 Por consiguiente, es necesario añadir las dos articulaciones pasivas adicionales mencionadas anteriormente, “*articulación 22*” y “*articulación 23*”, de ejes respectivos Δ_{22} y Δ_{23} , equipadas con sensores de ángulo (por ejemplo el sensor lineal 218 para el eje Δ_{22} y el sensor de ángulo 226 para el eje Δ_{23} , en las figuras 4C1 y 4C2).

50 El mecanismo combinado permite entonces resultados precisos para la flexión del codo *C*, incluso si el sistema está sujeto de manera muy inexacta.

55 En su conjunto, el sistema establece una estructura cinemática de referencia por encima del codo humano *C*, a partir de la parte superior del brazo *BS* y del final del antebrazo *AB*. Los movimientos humanos de codo *C* (flexión/extensión y pronación/supinación) pueden detectarse y resultar influidos sin limitar la gama natural de movimientos. Para proporcionar un par de retroacción normal a la flexión humana y a la rotación de codo, solamente son necesarios dos disparadores, aunque cuatro ejes móviles proporcionan un movimiento sin obstáculos del brazo humano durante el control a distancia.

ES 2 334 780 T3

A continuación se describirá de forma más detallada el subconjunto de muñeca 1 en referencia a las figuras 3A a 3H3.

La figura 3A ilustra, en vista anterior, el subconjunto de muñeca 1. Éste comprende seis ejes de articulación, todos de tipo rotoide.

La figura 3B es una vista isométrica que ilustra, en tres dimensiones, las posiciones relativas de estos seis ejes, Δ_{11} a Δ_{16} , para una postura particular de la mano M y de la muñeca P del operador U , en un momento dado.

Las figuras 3A y 3B se utilizan como referencia para explicar el funcionamiento de la primera articulación del subconjunto de muñeca 1. Las figuras 3C1 a 3G3 ilustran además vistas del mecanismo desmontado. Las articulaciones correspondientes tienen las referencias “articulación 11” a “articulación 16”.

El extremo proximal del subconjunto 1 se coloca alrededor del antebrazo AB y se fija sobre éste mediante una almohadilla hinchable 28 rodeada por una pieza anular rígida 240, colocada alrededor del antebrazo, cerca de la mano. Esta pieza anular rígida 240 está unida en su exterior a la parte interna de un anillo externo 110, por medio de un rodamiento de bolas 111 de sección fina, como muestran más particularmente las figuras 3H1 a 3H3. Por medio de este rodamiento de bolas 111, el anillo externo 110 puede girar alrededor del eje Δ_{11} , que es el eje de rotación de la articulación “articulación 11”. En la figura 3A, se observa solamente el anillo externo 110 y la almohadilla hinchada 28.

La ligadura “ligadura 11”, que es la ligadura hija en la articulación “articulación 11”, comprende el anillo externo 110 y piezas de detención 112, que se atornillan al anillo 110 para constituir un medio de bloqueo de las fundas 711 en su extremo distal. Los tendones 711' se colocan a través de estas piezas de detención 112 y de agujeros en el anillo externo 110, en el extremo de una polea hueca 113, que está conectada al anillo fijo 240. De este modo, al crear un movimiento relativo entre los tendones 711' y las fundas 711, el anillo externo 110 y, por consiguiente, la ligadura “ligadura 11” en su totalidad están dotados de movimientos alrededor del eje Δ_{11} de la articulación “articulación 11”, como muestra más particularmente la vista en despiece ordenado de las articulaciones “articulación 11” y “articulación 24” de las figuras 3H1 a 3H3. En la figura 3A, no se representan las fundas.

Un órgano suplementario de la ligadura “ligadura 11” es una brida de fijación 114 que se utiliza para fijar un árbol mecánico 115 ortogonal al anillo externo 110. Además, una placa de detención 116 está fijada bajo la brida de fijación 114 para detener a las fundas espiraladas 712 en su extremo distal. La articulación “articulación 12” conlleva el movimiento de la ligadura “ligadura 12” alrededor de la ligadura “ligadura 11”, a lo largo del eje de rotación de articulación Δ_{12} .

La vista en corte de la articulación “articulación 12” en la figura 3C3 puede utilizarse para describir la articulación de forma más detallada. El árbol 115 porta un rodamiento de bolas 117 en su extremo distal, en el que está fijada una placa de base 120 en la superficie externa de rodamiento. Esta placa de base 120 constituye una referencia para la ligadura “ligadura 12”, a la que se sujetan todas las demás partes de esta ligadura. De este modo, la polea 124 se atornilla a la placa de base 120, sujetando los tendones 712' a la ligadura “ligadura 12”. Los tendones 712' se colocan en la pieza de detención 116 de la ligadura anterior y crean una rotación en la ligadura “ligadura 12” desde que un movimiento relativo entre los tendones 712' y las fundas 712 es inducido por el accionamiento de los tendones por los motores. Además, dos placas horizontales, 121 y 122 respectivamente, están fijadas a la placa de base 120, por medio de tornillos, como se ilustra más particularmente mediante las figuras 3D1 a 3D3. Todas estas placas portan dos de los rodamientos de bolas, 124 y 123 respectivamente, entre los que se sujeta el árbol mecánico 131 de la articulación “articulación 13”. La articulación “articulación 13” une la ligadura “ligadura 12” como ligadura padre a la ligadura hija “ligadura 13”, que gira de forma pasiva alrededor del eje Δ_{13} . La base de la ligadura “ligadura 13” es el árbol 131, al que está fijada una pieza cilíndrica 130. Esta pieza cilíndrica 130 comprende una broca, ortogonal a la superficie cilíndrica, lo que proporciona el medio para fijar un haz cilíndrico 132 a su extremo proximal. Debido a la rotación del eje 131, toda la ligadura “ligadura 13” gira alrededor del eje Δ_{13} de la articulación “articulación 13”. El lado distal del haz cilíndrico 132 está fijado a una placa brida 133, que porta dos placas horizontales, una superior 134 y una inferior 135, respectivamente, como muestran más particularmente las figuras 3E1 a 3E3. La placa inferior 135 proporciona un medio de detención de las fundas 714 en sus extremos distales. De forma similar a las placas, 121 y 122, las placas 134 y 135 portan rodamientos de bolas que sujetan y centran al árbol mecánico 141 entre las placas 134 y 135.

La articulación “articulación 14”, que es una articulación activa, conlleva la rotación de la ligadura “ligadura 14” alrededor de la ligadura “ligadura 13”, a lo largo del eje Δ_{14} . La ligadura “ligadura 14” comprende otra parte cilíndrica 140, que está fijada al eje 141, y a una broca ortogonal a la superficie cilíndrica, que fija el lado proximal de un segundo haz cilíndrico 143. Una polea 142 está fijada además a la parte cilíndrica 140, para sujetar los tendones 714'. Al crear un movimiento relativo entre los tendones 714' y las fundas 714, se induce un movimiento del árbol 141 alrededor del eje Δ_{14} de la articulación “articulación 14”. Este movimiento del árbol conlleva el movimiento de la ligadura “ligadura 14”, en su totalidad, alrededor de la ligadura “ligadura 13”.

El extremo distal del haz cilíndrico 143 está sujeto en otra parte cilíndrica 144, que está conectada a un árbol 145.

ES 2 334 780 T3

Este árbol 145 constituye el eje mecánico de la articulación pasiva “*articulación 15*” que une la ligadura “*ligadura 14*” a la “*ligadura 15*”, en la que la ligadura “*ligadura 15*” gira como ligadura hija alrededor de la ligadura “*ligadura 14*” a lo largo del eje Δ_{15} , como muestran más particularmente las figuras 3F1 a 3F3, y 3B. El árbol 145 está sujeto entre dos rodamientos de bolas, que están sujetos por dos placas horizontales, una superior 151 y una inferior 152, respectivamente, estando estas placas atornilladas a la placa de base 150 de la ligadura “*ligadura 15*”.

El extremo distal se fija a un guante de plástico duro 5, colocado alrededor de la mano M del operador U . En el ejemplo ilustrado, el guante 5 está constituido por una envuelta principal 50 que comprende un primer orificio 51 (superior en la figura 3A) que permite la salida del pulgar y uno o más orificios 52 (axiales) que permiten una salida libre de los demás dedos de la mano M .

El subconjunto 1 está fijado a la envuelta 50 del guante 5 mediante cualquier medio apropiado (tornillo, etc.), mediante una pieza distal 54 asociada al eje de articulación “*articulación 16*”, de eje Δ_{16} .

La articulación “*articulación 16*” combina la ligadura “*ligadura 15*” con la pieza distal 54, que permite una rotación activa, influida por los tendones, alrededor del eje Δ_{16} . La pieza distal 54 está fijada a la parte posterior del guante 5, en el que se inserta la mano M del operador U . El otro lado de esta pieza distal 54 está unido a una placa de base 160, como muestran más particularmente las figuras 3G1 a 3G3.

Esta placa de base 160 está sujeta a una segunda placa 161 para fijar un árbol 162 ortogonal a la superficie de las piezas. Este árbol 162 porta un rodamiento de bolas en su lado distal, en el que está conectada la placa de base 150 de la “*ligadura 15*”. Una polea 153, que está montada directamente sobre la placa de base 150 fija los tendones 716', que provienen de las fundas 716. Como las fundas 716 están fijadas en sus extremos distales a una placa de detención 163, que está conectada a la placa de base de la ligadura “*ligadura 16*”, cualquier movimiento relativo de los tendones 716' hacia las fundas 716 induce una rotación de la “*ligadura 16*” alrededor del eje Δ_{16} , con respecto a la ligadura “*ligadura 15*”.

En resumen, la movilidad del subconjunto de muñeca puede detallarse de la siguiente manera:

Las tres articulaciones “*articulación 13*” a “*articulación 15*”, de ejes Δ_{13} a Δ_{15} , son articulaciones de un tipo llamado de rotoide. Las articulaciones “*articulación 13*” y “*articulación 15*”, de ejes Δ_{13} y Δ_{15} son puramente pasivas, la articulación “*articulación 14*”, de eje Δ_{14} , es activa y está controlada por uno de los pares de tendones flexibles del haz 7, de referencia 714'. Las articulaciones pasivas se integraron en el subconjunto 1 para proporcionar un movimiento sin obstáculos de la muñeca humana P durante las operaciones de control remoto del robot (no se representa).

Con la estructura de esqueleto humano y las conexiones en el cuerpo humano del operador U en dos lados, este mecanismo forma un pantógrafo. La abducción o la aducción de la muñeca P pueden controlarse mediante el accionamiento de la articulación “*articulación 14*”, de eje Δ_{14} , y los movimientos resultantes en las articulaciones pasivas. Si los tendones 714' accionan la articulación “*articulación 14*” hacia ángulos de articulación reducidos, se impone una abducción de la articulación de muñeca P . Desde el momento en que los tendones 714' controlan a la articulación “*articulación 14*” hacia ángulos de articulación grandes, se impone una aducción de la articulación de muñeca P .

Para comprender cómo se ejerce un par para realizar una flexión de muñeca P , nos remitiremos a la vista isométrica representada en la figura 3B.

Las articulaciones, “*articulación 12*” y “*articulación 16*”, de ejes Δ_{12} y Δ_{16} , son las dos de tipo activo. Éstas se utilizan para detectar e imponer el movimiento de flexión a la muñeca P . Si, por ejemplo, las dos articulaciones giran en el sentido de las agujas del reloj, las ligaduras de articulaciones de exoesqueleto controlan una flexión de la muñeca humana P hacia arriba y, recíprocamente, un control en sentido contrario a las agujas del reloj, impone una flexión hacia abajo. Si las dos articulaciones se bloquean, no se puede producir ninguna flexión de muñeca.

Para obtener estos movimientos, las dos articulaciones, “*articulación 12*” y “*articulación 16*”, están controladas también por pares de tendones flexibles 712' y 716', respectivamente.

Como la muñeca humana P es una articulación elipsoide y no una articulación esférica, estas únicas cinco ligaduras no pueden proporcionar un comportamiento óptimo del mecanismo durante la rotación o ningún otro movimiento combinado. Por consiguiente, la articulación “*articulación 11*” se introdujo en la cadena cinemática. Esta articulación “*articulación 11*”, de eje Δ_{11} , es también una articulación de tipo rotoide activa que puede compensar la excentricidad de cualquier movimiento combinado. Ésta está controlada por un par de tendones flexibles 711'.

De forma ventajosa, todas las articulaciones de este subconjunto 1 están asociadas a sensores, Ca_{12} a Ca_{16} (figura 3B) que miden los ángulos de rotación alrededor de los ejes correspondientes, Δ_{11} a Δ_{16} . Los datos, resultados de estas mediciones, se transmiten, mediante cualquier medio apropiado, a sistemas de recepción localizados por ejemplo en la estación espacial, incluso directamente en la carcasa 6 (figura 1B). Puede tratarse de transmisiones por cable o, por el contrario, inalámbricas (radio-transmisión, etc.). Estos aspectos, en sí, son bien conocidos por el especialista en la técnica y no es necesario detallarlos demasiado.

ES 2 334 780 T3

De estas disposiciones resulta que el subconjunto 1 permite movimientos libres de la muñeca P , sin limitar de ninguna manera el grado de movilidad del operador U .

5 A continuación se describirá de forma más detallada el funcionamiento de la unidad de control de las articulaciones activas.

10 Como se ha indicado, de acuerdo con una de las características importantes de la invención, los pares motores de las articulaciones activas se transmiten a distancia utilizando cables tendones $7'$, guiados a lo largo de la estructura de exoesqueleto EXB , que provienen de motores Mt dispuestos sobre una placa posterior pectoral 42, y se transmiten a cada articulación activada. El montaje de los motores en la parte trasera del usuario U permite reducir al mínimo el tamaño y el peso del brazo maestro de exoesqueleto EXB .

15 En una realización práctica, se utilizan ventajosamente, en lo que respecta a los tendones del haz $7'$, cables de hebra múltiple, típicamente de 7×19 y de 1 mm de diámetro. Esta elección permite reducir al mínimo el desgaste de curvatura y permite cargas que llegan hasta 50 Nm. Para transferir eficazmente pares utilizando una transmisión de tendones de cables, los cables deben someterse a fuerzas de manera que estén pre-tensados a la mitad de su carga de funcionamiento, es decir 25 Nm en el ejemplo descrito.

20 Las figuras 6A, 6B y 6C ilustran esquemáticamente cómo un par de tendones de cables, de referencia arbitraria $700'$, acciona una de las articulaciones activas, de eje al que se atribuye arbitrariamente la referencia Δ .

25 Una polea, a la que se atribuye arbitrariamente la referencia R , coaxial al eje Δ , es impulsada en rotación alrededor de este eje por un bucle formado por el par de tendones $700'$. El eje de la polea R está unido a una primera pieza supuestamente fija, a la que se atribuye arbitrariamente la referencia A_1 . Una segunda pieza, supuestamente móvil, a la que se atribuye arbitrariamente la referencia A_2 , es impulsada en rotación alrededor del eje Δ por la polea R .

30 En la figura 6A, las dos piezas A_1 y A_2 , se representan una en la prolongación de la otra: con la referencia I . Si se imprime un par a la polea R (en el sentido inverso de las agujas del reloj en el ejemplo: flecha f), mediante el par de tendones $700'$, éste empezará a girar alrededor del eje Δ y la pieza A_2 seguirá este movimiento de rotación: de referencia II (figura 6B). La pieza móvil, en adelante de referencia A'_2 , está en posición ortogonal a la pieza A_1 .

Naturalmente, un par en sentido inverso (sentido de las agujas del reloj) devolvería a la pieza móvil a su primer estado A_2 (figura 6A).

35 Los tendones $700'$ son guiados en el exoesqueleto EXB (figura 1A) por fundas en las que se deslizan, a las que se atribuye arbitrariamente la referencia 700 . La longitud de guiado puede modificarse en función de la longitud del tendón $700'$.

40 La figura 6C describe de manera más detallada las unidades mecánicas incluidas a lo largo de la trayectoria de un tendón, a partir de un motor y que se terminan en una articulación activada. La figura 6C describe el caso general de la activación de las articulaciones de rotación.

45 Los tendones $700'$, que se fijan en las poleas R , como se ha descrito anteriormente, son guiados a lo largo de las fundas espiraladas 700 hasta que alcanzan una unidad de precarga, que se utiliza para estirar los tendones $700'$ por medio de las fundas y crear una precarga. Esto puede realizarse acortando la longitud de los tendones con respecto a las fundas haciendo girar a los tornillos de precarga C_1 en sentido contrario a las agujas del reloj. Este sistema de pretensado presenta la ventaja de que la unidad de activación no puede fijarse a la misma estructura de referencia que la unidad de precarga, y de este modo puede desplazarse en el espacio con respecto a la unidad de precarga, sin pérdida de tensión o modificación involuntaria de la posición del eje que ha girado.

50 Al pasar a través de la unidad de precarga, los tendones $700'$ son guiados por una funda 700 que lleva a una unidad de motorización (motor Mt). La unidad de motorización Mt comprende una polea ME que está sujeta al eje Δ_m del motor Mt , directamente o mediante un órgano de cambio de velocidad. El propio motor Mt está fijado a una pieza de referencia D que también se utiliza para detener al extremo proximal $700bII$ de las fundas. Los tendones $700'$ pasan a través de esta pieza de referencia D para enrollarse alrededor de una polea ME , donde se fijan.

De este modo, para el accionamiento de la unidad de activación, el motor Mt debe impulsar a la polea ME en la misma dirección que el movimiento deseado para la articulación activada.

60 Debe entenderse bien que el órgano de control de la articulación que acaba de describirse se encuentra a nivel de todas las articulaciones activas que se han descrito anteriormente.

Un caso especial de activación lineal se explica en referencia a la figura 6D que describe esquemáticamente la activación lineal de la articulación común prismática "articulación 33".

65 La función de la unidad de precarga inicial es idéntica a la función descrita anteriormente con respecto a la figura 6C. La diferencia principal se basa en la unidad de activación. La articulación lineal es accionada por un único tendón $700'$, que se coloca en el centro de los tubos telescópicos F . Estos tubos F están sujetos en el lado distal a una placa

ES 2 334 780 T3

de detención *H*, donde está fijado el extremo distal del tendón 700'. En el lado proximal de los tubos telescópicos *F*, se prevé otra placa de detención *G* que impide que el extremo distal de la funda 700 pase al interior de los tubos telescópicos *F*. El tendón 700' puede atravesar la placa *G* y alcanzar el interior de la funda 700 justo después de salir del extremo proximal de los tubos telescópicos *F*. Entre las dos placas de detención, *G* y *H*, un muelle de compresión *SP* crea una fuerza de repulsión.

Después de pasar a través de la unidad de precarga, el tendón 700' y la funda 700 alcanzan la unidad de motorización. Esta unidad de motorización comprende una placa de referencia *K* en la que se fija el motor *Mt* y en la que hace tope el extremo proximal 700bII de la funda 700. El tendón 700' atraviesa la placa *K* y está fijado a una polea *J*. Esta polea *J* guía al tendón a lo largo de un perfil en espiral, por lo tanto con variación de radio. Por medio de esta forma especial de polea, se puede eliminar el comportamiento no lineal de la fuerza de compresión creciente del muelle *SP*. De este modo, el control de motorización es más fácil.

Si el motor *Mt* tira del tendón 700', la placa *H* de la unidad de activación comienza hacer que el muelle de compresión *SP* se contraiga. Los tubos telescópicos *F* se contraen en su totalidad. La liberación del tendón 700' en sentido contrario en la polea *J* permite la extensión de los tubos telescópicos *F*.

A continuación se describirá de forma más detallada el modo de fijación a un operador *U* de las diferentes partes del exoesqueleto de brazo *EXB* de la invención, remitiéndonos de nuevo a las figuras 1A y 1B, y a las figuras 7A y 7B.

A modo de recordatorio, el exoesqueleto completo *EXB* está conectado al tórax *TH* de un operador *U*. Dos placas rígidas, 40 y 41, proporcionan una estructura rígida de referencia para el exoesqueleto *EXB*. Las dos placas, 40 y 41, están conectadas juntas alrededor del tórax humano *TH* por medio de correas 42, ventajosamente de tejidos de auto-sujeción. El brazo maestro del exoesqueleto se atornilla a la placa anterior con ayuda de la pieza de fijación 33 (figuras 5A y 5B) y, por consiguiente, utiliza el tórax humano *TH* como referencia.

En lo que respecta a las fijaciones en el brazo *BS* y el antebrazo *AB*, se utilizan, como se ha recordado, almohadillas anulares hinchables.

Las figuras 7A y 7B ilustran, en corte sagital, las almohadillas anulares hinchables de los subconjuntos de hombro 3 (almohadilla 30) y de codo 2 o de muñeca 1 (almohadilla 28), respectivamente, como muestra también la figura 2.

Las almohadillas anulares hinchables, 30 y 28, se insertan en dos anillos rígidos externos, 31 y 240 respectivamente. De forma ventajosa, estas almohadillas anulares hinchables pueden estar realizadas en caucho de silicona y pueden hincharse con ayuda de bombas que pueden desconectarse con ayuda de conexiones rápidas. Una vez hinchadas, los anillos crean una fijación no deslizante entre el brazo humano, *BS* o *AB*, y los anillos rígidos externos. Los anillos rígidos externos constituyen las fijaciones para el montaje de codo.

Para reducir las fricciones en cada articulación y aumentar debido a esto la eficacia del sistema global, cada eje está equipado ventajosamente con rodamientos de bolas, por ejemplo los rodamientos de bolas de referencia 242 en la figura 7B. De este modo, los mecanismos siguen cada movimiento humano del brazo superior *BS*, del antebrazo *AB* y de la muñeca *P* sin obstáculos.

En un ejemplo de realización práctica del exoesqueleto de brazo *EXB* (figura 1A) de acuerdo con la invención, éste se ha diseñado para ser lo más ligero y lo más rígido posible. Para ello, la mayoría de las piezas se realizó ventajosamente a base de aluminio y, en la medida de lo posible, a base de plásticos (por ejemplo cloruro polivinílico de PVC). Las grandes piezas estructurales que encerrarán al brazo *Bd* (o *Bg*) del operador *U* se realizaron ventajosamente a base de compuestos de fibra de carbono para reducir el peso y al mismo tiempo para aumentar la rigidez de la estructura rígida de exoesqueleto *EXB*.

El último interfaz con el brazo humano *Bd* (o *Bg*) es la conexión de extremo distal de exoesqueleto a la palma del operador *U* (véase la Figura 3A por ejemplo). Como se ha descrito, el operador *U* lleva un guante rígido 5 de palma que comprende aberturas 51 y 52 y fijado a la palma con tejido de auto-sujeción 53. La utilización de dicho interfaz permite mantener libres todos los dedos del operador *U*. Por consiguiente, puede utilizarse un interfaz adicional de tipo háptico: por ejemplo un "ciberguante" o una "cibermano".

Con la lectura de lo anterior, se constata fácilmente que la invención cumple correctamente los objetivos que se ha fijado.

El exoesqueleto de brazo de acuerdo con la invención aporta, como se ha recordado, muchas ventajas, que es inútil recordar.

Esto se debe, por un lado, al diseño original de la cinemática, que no intenta imitar la cinemática humana. Esto se debe, por otro lado, a la utilización de tendones de cable para accionar las articulaciones activas. Esto se debe, finalmente, al empleo de almohadillas hinchables, lo que permite una gran adaptabilidad del exoesqueleto, sin necesidad de ajustes largos y fastidiosos: el ajuste de dos órganos con tornillos o similar, situados en los tubos telescópicos, es típicamente suficiente para asegurar una adaptación *in situ* del exoesqueleto de brazo a un gran porcentaje de sujetos (típicamente un intervalo de de porcentajes mencionado anteriormente).

ES 2 334 780 T3

Debe quedar claro, sin embargo, que la invención no se limita a los únicos ejemplos de realizaciones descritos explícitamente, particularmente en relación con las figuras 1A a 7B.

5 Del mismo modo, aunque la invención se ha descrito en el marco de su aplicación preferida, a saber el control remoto de un robot de tipo humanoide que opera en el exterior de una estación espacial, está claro que la invención no se limita en absoluto a esta aplicación.

Al contrario, la invención puede aplicarse en muchos campos y, de forma no exhaustiva, en los siguientes campos:

- 10 - control remoto muy preciso de robots reales o virtuales para operaciones nucleares, para operaciones de tipo llamado “*offshore*” (a larga distancia), para la retirada de minas, para manipulaciones de materiales peligrosos, para trabajos de descontaminación biológica, etc.;
- 15 - rehabilitación de personas que presentan alteraciones temporales del brazo: el exoesqueleto se utiliza para gimnasia pasiva;
- accionamiento de prótesis pasivas para personas discapacitadas, realizándose el control mediante la voz o mediante transmisión de impulsos nerviosos;
- 20 - entrenamiento divertido de la forma física: con un complemento de gafas de vídeo, el exoesqueleto puede proporcionar al brazo un juego de ejercicios para la forma física;
- entrenamiento de la forma física de astronautas en órbita, en misión de larga duración: la utilización es semejante a la recordada anteriormente, pero más exactamente con el objetivo de combatir el debilitamiento de los huesos y de los músculos;
- 25 - aumento de la fuerza para personas que padecen deficiencia muscular;
- animación realista de personajes virtuales para la industria de la televisión y/o del cine: el movimiento del brazo de un personaje sigue al del animador, proporcionando un comportamiento sin rebotes y muy natural;
- 30 - videojuegos llamados de inmersión;
- instrucciones para la robótica industrial, por ejemplo para tareas de alta precisión y tareas a escala reducida, tales como montajes de robótica para sistemas micro-electro-mecánicos (llamados “MEMS” de acuerdo con la terminología anglosajona) o micro-y-nano tecnologías (llamadas “MNT” de acuerdo con la terminología anglosajona); y
- 35 - entrenamiento de astronautas en entorno virtual.
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

REIVINDICACIONES

1. Exoesqueleto de brazo para adquirir datos representativos de movimientos de las articulaciones del brazo de un operador humano con ayuda de sensores de medición y/o para aplicar pares con ayuda de unidades de activación asociadas a al menos una parte de dichas articulaciones, comprendiendo dicho exoesqueleto un primer dispositivo que tiene la conformación de una manga, que se colocará alrededor de al menos uno de dichos brazos (Bd), para formar una cadena cinemática de articulaciones (1, 2, 3) dispuesta paralelamente a dichas articulaciones de brazo, comprendiendo dicho dispositivo un primer subconjunto llamado exoesqueleto de hombro (3) que comprende un primer número determinado de articulaciones asociadas a las articulaciones de hombro de dicho cuerpo humano (U), un segundo subconjunto llamado exoesqueleto de codo (2) que comprende un segundo número determinado de articulaciones asociadas a las articulaciones de codo de dicho cuerpo humano (U) y un tercer subconjunto llamado exoesqueleto de muñeca (1) que comprende un tercer número determinado de articulaciones asociadas a las articulaciones de muñeca de dicho cuerpo humano (U), siendo la suma de los primer, segundo y tercer números determinados de articulaciones igual a dieciséis, para permitir dieciséis grados de libertad, y estando dichas unidades de activación controladas por tendones flexibles (7) que discurren a lo largo de dichos subconjuntos, estando dichos primer a tercer subconjuntos mecánicamente disociados para poder estar controlados individualmente por dichos tendones flexibles (7) y comprendiendo dicho exoesqueleto un segundo dispositivo, que forma soporte (4), portado por el tórax (TH) de dicho cuerpo humano (U), que comprende una placa rígida anterior, llamada pectoral (40), y una placa rígida posterior, llamada de espalda (41), y dicho exoesqueleto de hombro (3) está fijado en su extremo proximal a dicha placa anterior (40), proporcionando ésta una referencia fija para cualquier movimiento de dicho exoesqueleto (EXB).

2. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** por que dicho exoesqueleto de muñeca está unido en su extremo distal a una mano (M) de dicho cuerpo humano (U).

3. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado** por que dichos tendones flexibles (7) comprenden cables (700') colocados en fundas de guía de tipo espiral (700) y por que son accionados por unidades de control motorizadas (Mt) dispuestas sobre dicha placa rígida de espalda.

4. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** por que dicho exoesqueleto de hombro (3) comprende seis articulaciones ("articulación 31" - "articulación 36") asociadas cada una a un eje (DELTA 31 a DELTA 36), y por que dichas primera, segunda, cuarta, quinta y sexta articulaciones son de tipo rotoide y dicha tercera articulación es de tipo prismático.

5. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado** por que dicho exoesqueleto de hombro (3) comprende un primer órgano (34) que realiza dicha fijación a dicha placa rígida pectoral (40) y asociada a las primera y segunda articulaciones de tipo rotoide ("articulación 31", "articulación 32").

6. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado** por que dicho exoesqueleto de hombro (3) comprende un segundo órgano provisto de una almohadilla hinchable (30), colocado alrededor de la parte superior (BS) de dicho brazo (Bd), para bloquear dicho exoesqueleto de hombro (3) sobre ésta, por que dicha almohadilla hinchable (30) está encerrada en una pieza anular (31) dispuesta entre los extremos de las ramas de una pieza en forma de "U" (32), y por que dichos extremos están asociados a las tercera y cuarta articulaciones de tipo rotoide ("articulación 34", "articulación 35").

7. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado** por que dicho exoesqueleto de hombro (3) comprende un tercer órgano provisto de un tubo telescópico (332) rodeado por un muelle de pretensado (SP), por que dicho tercer órgano está fijado por un primer extremo, en rotación libre alrededor del eje (DELTA 32) de dicha segunda articulación ("articulación 32"), a dicho primer órgano, y por un segundo extremo, en un punto de la base de dicha "U" (32), formando dicho punto de fijación la quinta articulación de tipo rotoide ("articulación 35"), por que dicho tercer órgano forma dicha articulación prismática ("articulación 33"), y por que dicho muelle (SP) es accionado por uno de dichos tendones de cable (733') que ejerce una fuerza sobre éste, para comprimirlo o extenderlo, de acuerdo con el sentido de dicha fuerza ejercida.

8. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado** por que dichas primera, segunda ("articulación 32") y sexta ("articulación 36") articulaciones, de tipo rotoide, llamadas activas, son accionadas por tendones flexibles determinados, y por que dichas cuarta ("articulación 34") y quinta ("articulación 35") articulaciones, de tipo rotoide, llamadas pasivas, no son accionadas por ninguno de dichos tendones flexibles.

9. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** por que dicho exoesqueleto de codo (2) comprende cuatro articulaciones ("articulación 21" - "articulación 24") asociadas cada una a un eje de rotación (DELTA 21 a DELTA 24), y por que dichas primera ("articulación 21"), tercera ("articulación 23") y cuarta ("articulación 24") articulaciones son de tipo rotoide y dicha segunda articulación ("articulación 22") es de tipo prismático.

10. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado** por que dicho exoesqueleto de codo (2) comprende un primer órgano que comprende una primera pieza (204), de forma anular, y una segunda pieza (205), en forma de herradura, sujetas una a la otra por tubos telescópicos (200, 202), de longitud regulable por medio de un

ES 2 334 780 T3

dispositivo de tornillo, estando dichas primera (204) y segunda (205) piezas colocadas por encima de dicho codo (C), alrededor de la parte superior (BS) de dicho brazo (Bd).

5 11. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado** por que dicho exoesqueleto de codo (2) comprende un segundo órgano que comprende una tercera pieza (210), en forma de herradura, sujeta a dicha segunda pieza (205), en forma de herradura, por una pieza intermedia, estando dicha tercera pieza colocada por debajo de dicho codo (C), alrededor del antebrazo (AB) de dicho brazo (Bd).

10 12. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado** por que dichas primera (“articulación 21”) y cuarta (“articulación 24”) articulaciones, de tipo rotoide, llamadas activas, son accionadas por tendones flexibles determinados, y por que dichas segunda (“articulación 22”) y tercera (“articulación 23”) articulaciones, llamadas pasivas, no son accionadas por ninguno de dichos tendones flexibles.

15 13. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** por que dicho exoesqueleto de muñeca (1) comprende seis articulaciones (“articulación 11” - “articulación 16”) asociadas cada una a un eje de rotación (DELTA 11 a DELTA 16), y por que dichas primera a sexta articulaciones (“articulación 11” - “articulación 16”) son de tipo rotoide.

20 14. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 13, **caracterizado** por que el exoesqueleto de muñeca (1) comprende un primer órgano provisto de una almohadilla hinchable (28), colocado alrededor de un antebrazo (AB) de dicho operador (U), cerca de la mano (M), para bloquear dicho exoesqueleto de muñeca (1) sobre éste, por que dicha almohadilla hinchable (28) está encerrada en una pieza anular (240), y por que dicho primer órgano está asociado a dicha primera articulación (“articulación 11”).

25 15. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 14, **caracterizado** por que, estando dicha mano (M) insertada en un guante rígido (5), dicho exoesqueleto de muñeca (1) comprende un segundo órgano que comprende una pieza de fijación a dicho guante rígido (5).

30 16. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 15, **caracterizado** por que dicho guante rígido (5) comprende aberturas (51, 52) que dejan el paso libre a los dedos de dicha mano (M) y está provisto de medios de fijación constituidos por un tejido de tipo de auto-sujeción.

35 17. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 15, **caracterizado** por que dicho exoesqueleto de muñeca (1) comprende un tercer órgano que forma un dispositivo de unión mecánica articulada entre dichos primer y segundo órganos, por que dicho dispositivo comprende una pieza de fijación a dicha pieza anular, estando dicha pieza de fijación asociada a dicha segunda articulación (“articulación 12”), y primero y segundo vástagos (132, 143) de unión articulados, en un primer extremo, alrededor de una pieza intermedia, asociada a dicha tercera articulación (“articulación 13”), por que dicho primer vástago (132) está sujeto, en un segundo extremo, a dicha pieza de fijación en dicha pieza anular, en rotación libre alrededor de un eje (DELTA 13) asociado a dicha tercera articulación (“articulación 13”), por que dicho segundo vástago (143) está sujeto, en un segundo extremo, a dicha pieza de fijación en dicho guante rígido (5), en rotación libre alrededor de un eje (DELTA 15) asociado a dicha quinta articulación (“articulación 15”), y por que dicha pieza de fijación a dicho guante rígido (5) está asociada además a dichas quinta (“articulación 15”) y sexta (“articulación 16”) articulaciones.

45 18. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 13, **caracterizado** por que dichas primera (“articulación 11”), segunda (“articulación 12”), cuarta (“articulación 14”) y sexta (“articulación 16”) articulaciones, llamadas activas, son accionadas por tendones flexibles determinados, y por que dichas tercera (“articulación 13”) y quinta (“articulación 15”) articulaciones, llamadas pasivas, no son accionadas por ninguno de dichos tendones flexibles.

50 19. Exoesqueleto de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8, 12 ó 18, **caracterizado** por que dichas articulaciones activas comprenden poleas de arrastre (R) de eje de rotación (DELTA) confundidos con los ejes de dichas articulaciones y por que dichas poleas (R) son impulsadas en el sentido de las agujas del reloj o en sentido inverso a las agujas del reloj por un par de tendones flexibles (700'), para inducir un movimiento de rotación correspondiente de la articulación asociada a dicha polea (R).

55 20. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado** por que comprende órganos de pretensado (8) que someten a dichos tendones flexibles (700') a una fuerza inicial de amplitud predeterminada, fracción de un valor máximo de carga a sostener, y por que estos órganos de pretensado (8) se disponen en dicho exoesqueleto de hombro (3).

60 21. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 20, **caracterizado** por que dichos órganos de pretensado (8) comprenden tornillos de apriete/aflojamiento (C1) que actúan sobre los extremos (700a) de dichas fundas de guía de cables.

65 22. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado** por que dichas unidades de control que accionan a dichos tendones flexibles son motores de corriente continua (Mt) dispuestos sobre dicha placa rígida de espaldas (41).

ES 2 334 780 T3

23. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** por que dichas articulaciones están provistas de sensores de ángulo (Ca12 - Ca16, Ca21 - Ca23, Ca31 - Ca36, 218, 226) que miden la rotación de los ejes asociados a estas articulaciones.

5 24. Exoesqueleto de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado** por que dichas placas pectoral (40) y de espalda (42) de dicho soporte (4) están unidas entre sí mediante correas de tejido de tipo de auto-sujeción (42).

10 25. Aplicación de un exoesqueleto de brazo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores al control remoto de un robot de tipo humanoide que opera en el exterior de una estación espacial provisto de brazos artificiales y que realiza tareas bajo el control de un cuerpo humano, estando dicho exoesqueleto de brazo (EXB) colocado alrededor de al menos uno de sus brazos (Bd), recibiendo dicho robot datos que fuerzan la ejecución de movimientos en relación biunívoca con los movimientos del brazo (Bd) y transmitiendo datos llamados de retroacción que fuerzan la ejecución de movimientos de todas o parte de dichas articulaciones de dicho exoesqueleto de brazo (EXB) y que conllevan movimientos correspondientes del brazo (Bd).

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

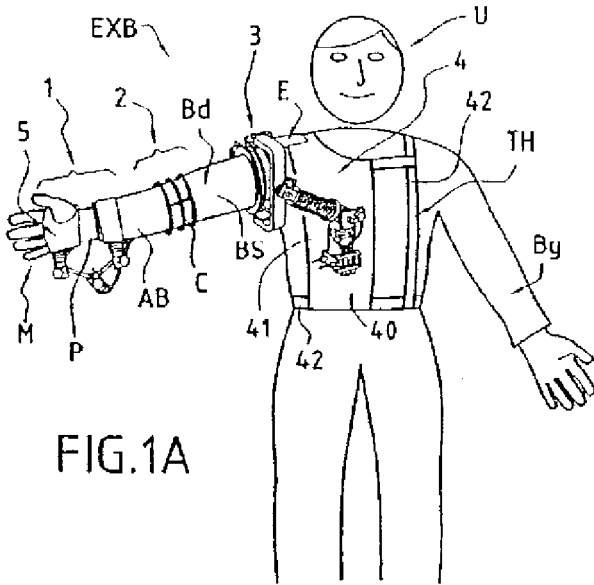


FIG. 1A

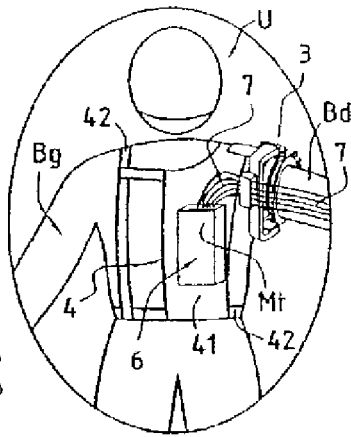


FIG. 1B

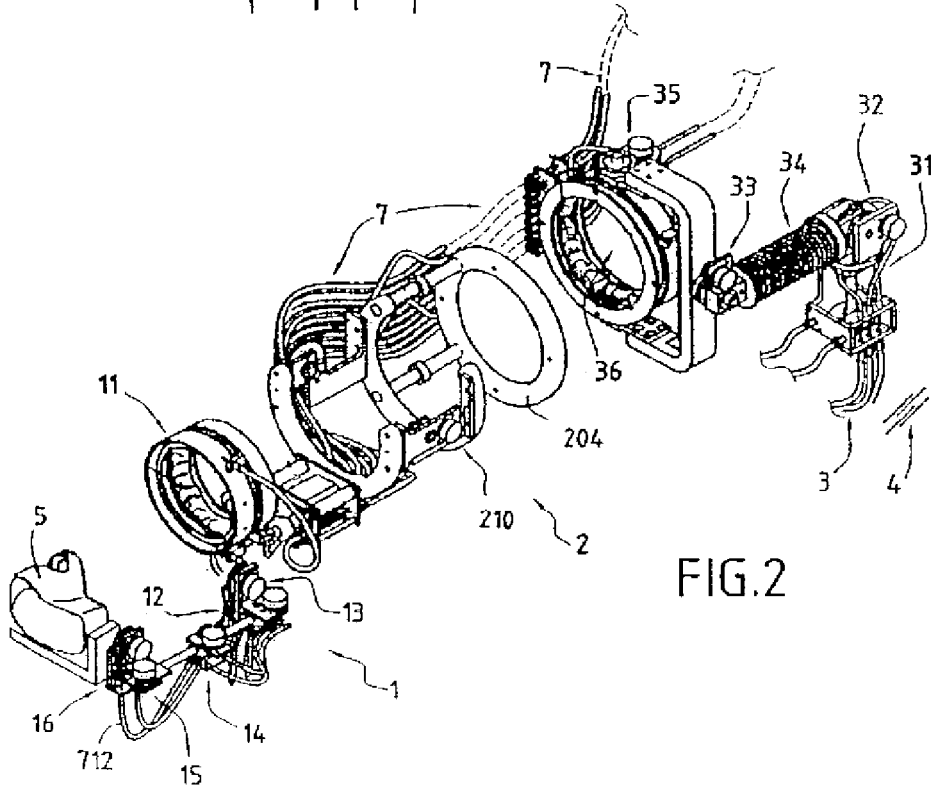
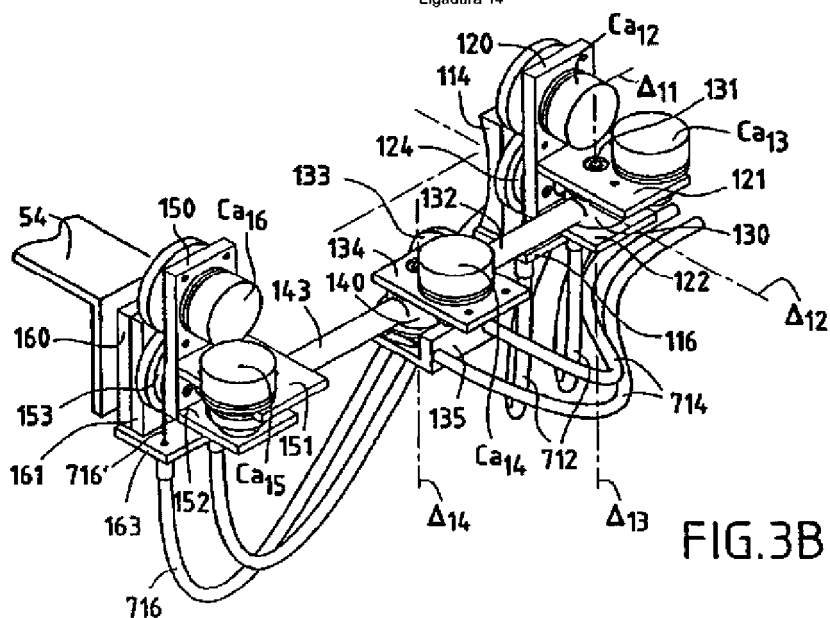
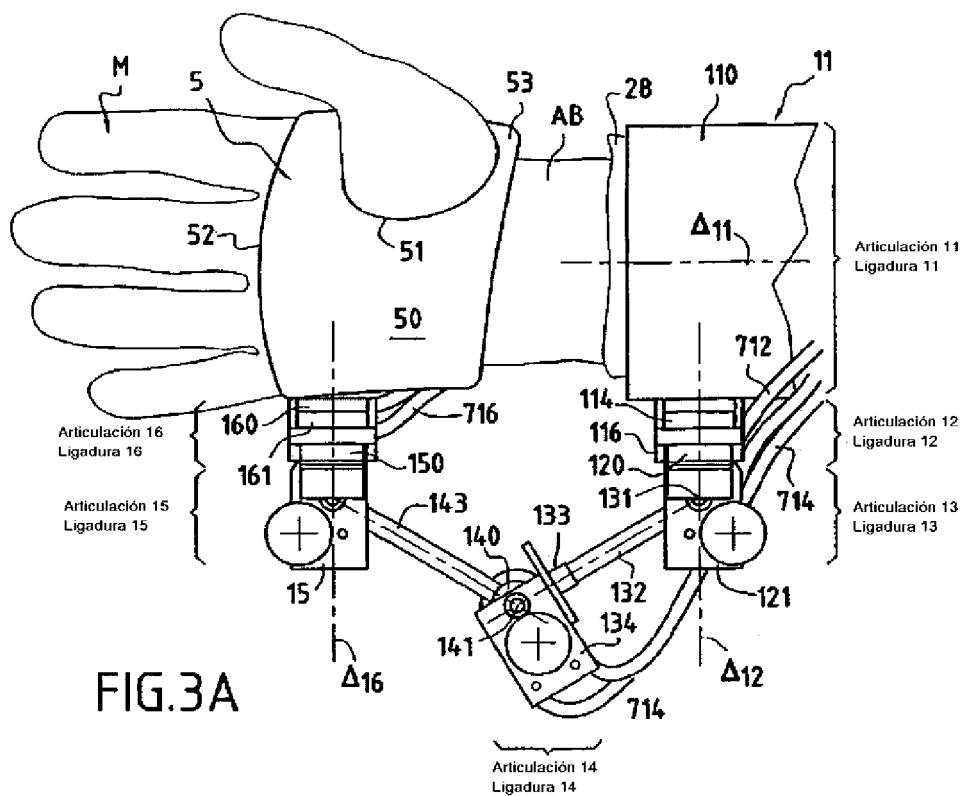


FIG. 2



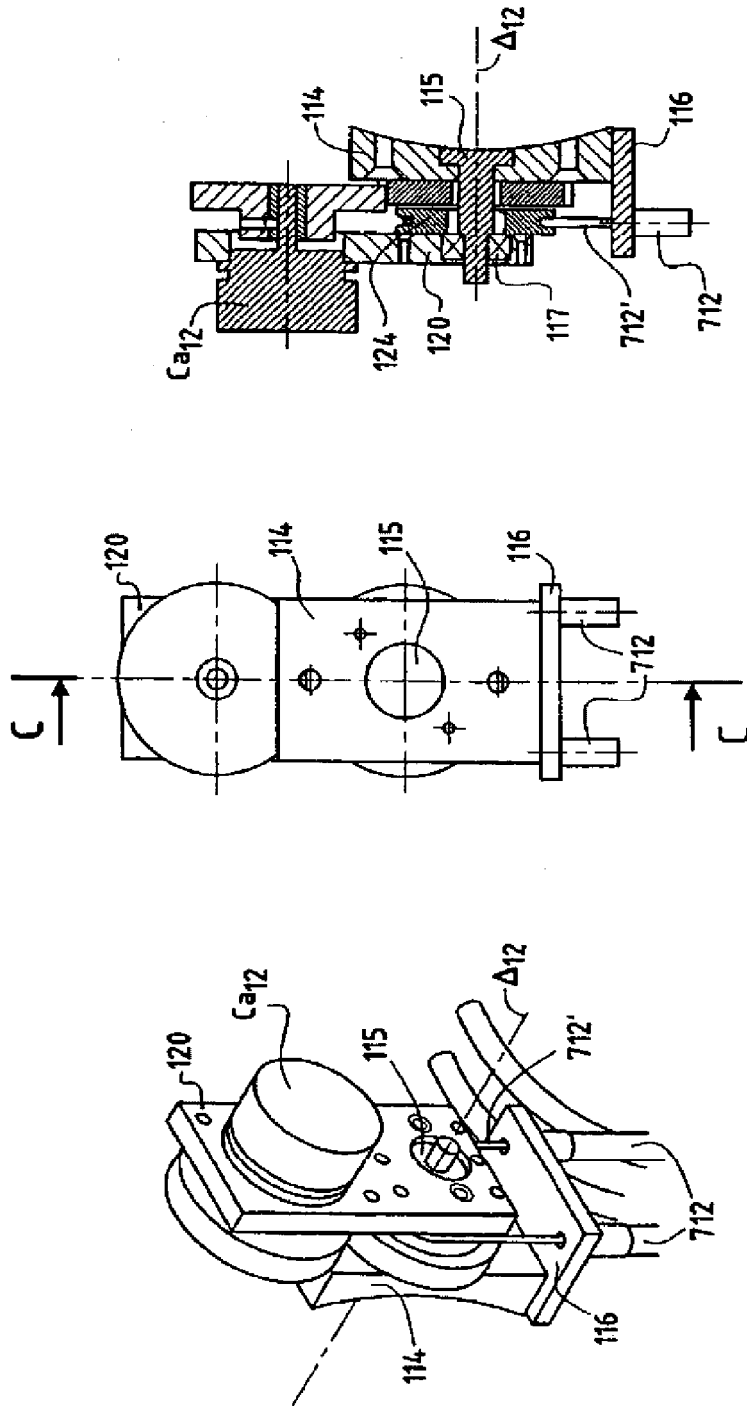


FIG.3C3
Corte C/C

FIG.3C2

FIG.3C1

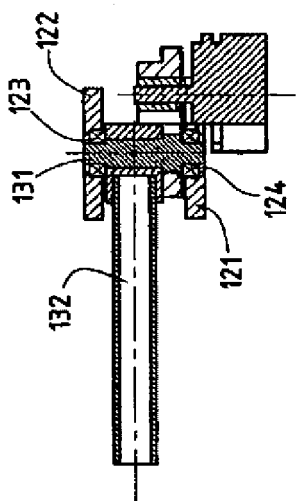


FIG. 3D3
Corte H/H

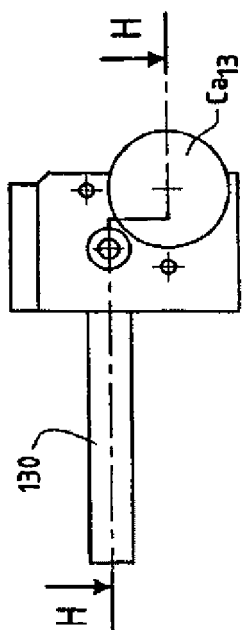


FIG. 3D2

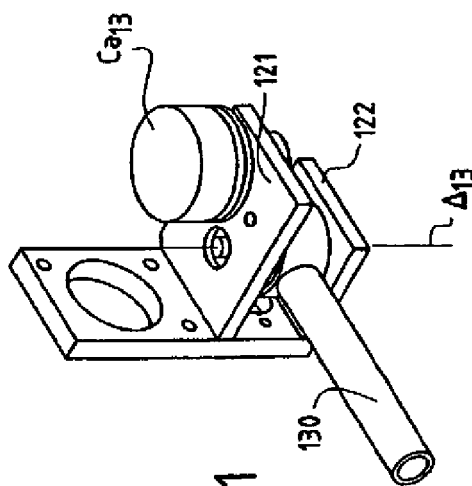


FIG. 3D1

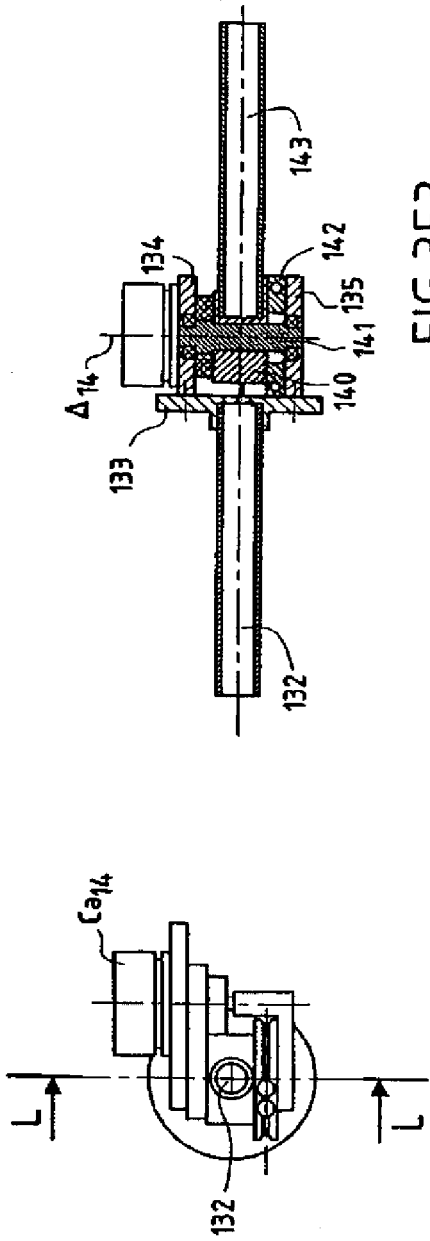


FIG.3E3
Corte L/L

FIG.3E2

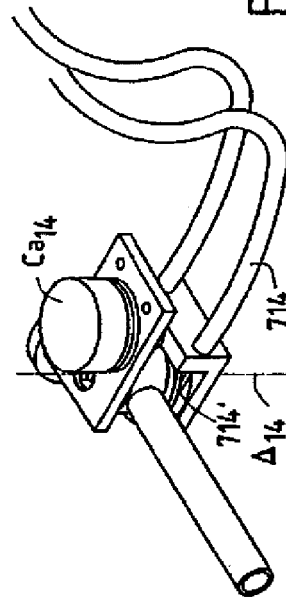


FIG.3E1

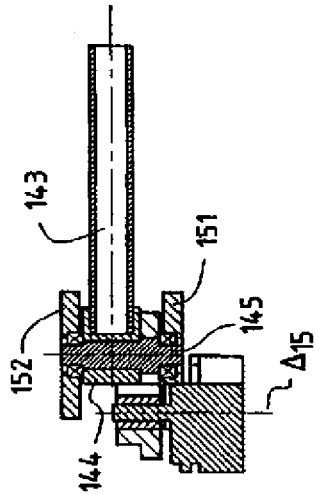


FIG.3F3
Corte R/R

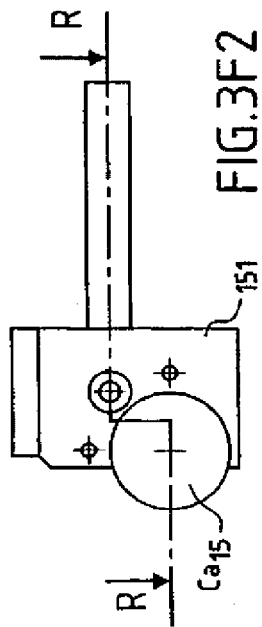


FIG.3F2

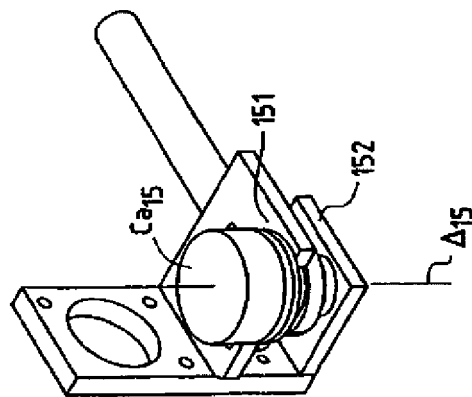


FIG.3F1

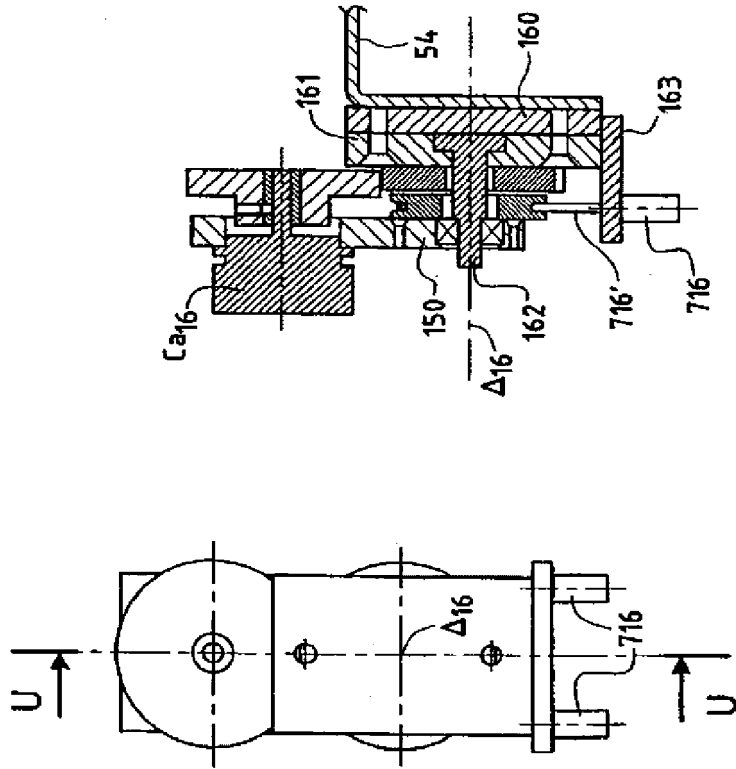


FIG. 3G3

Corte U/U

FIG. 3G2

FIG. 3G1

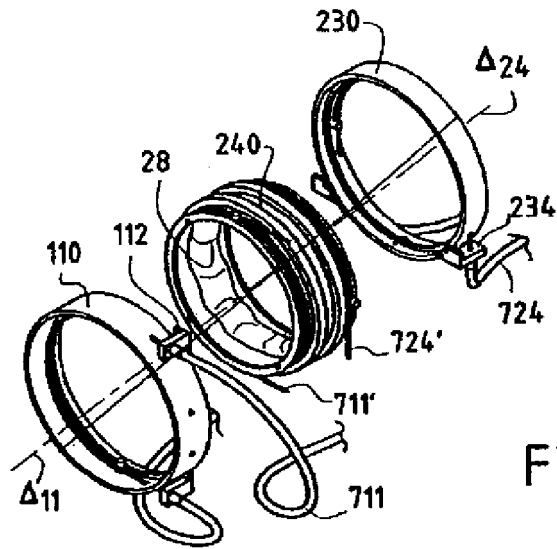


FIG. 3H1

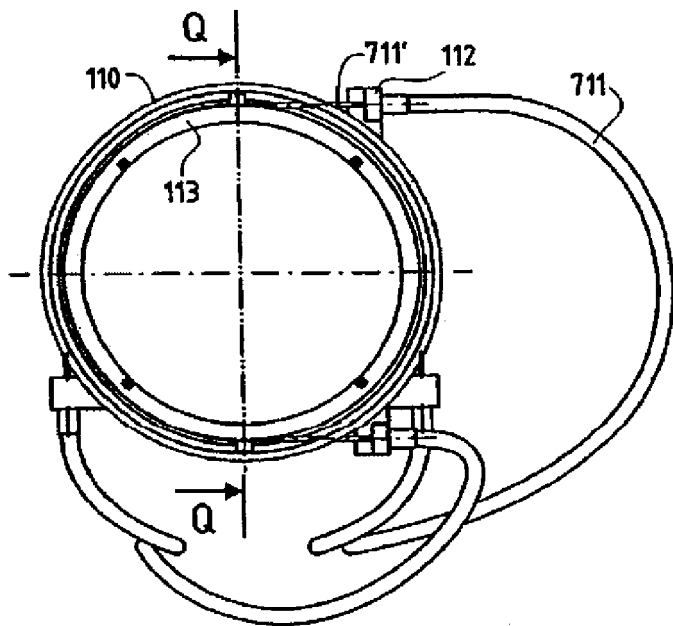


FIG. 3H2

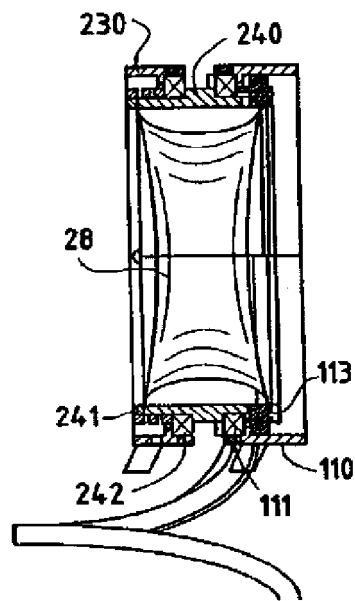
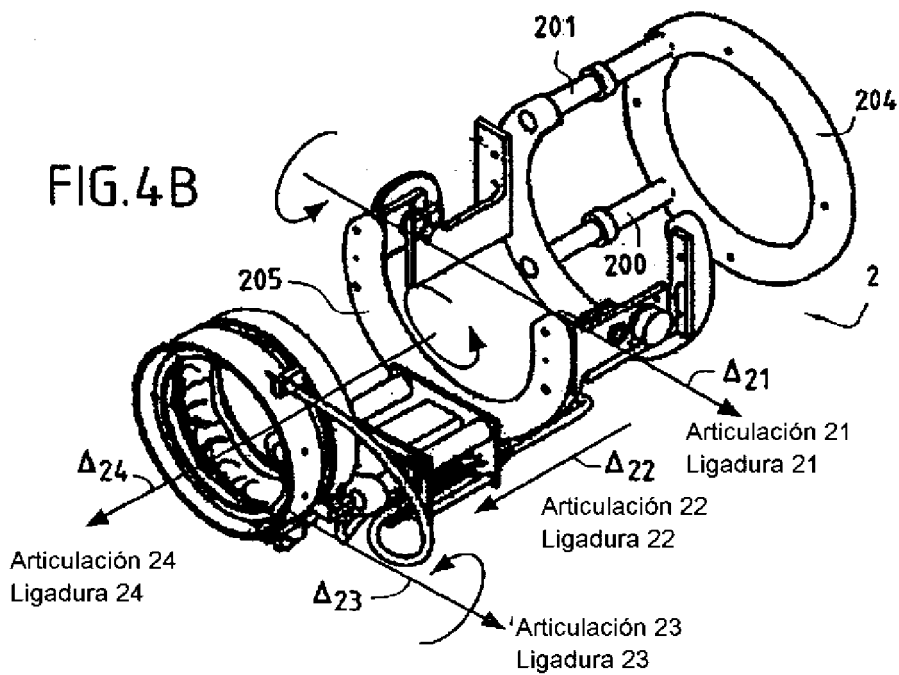
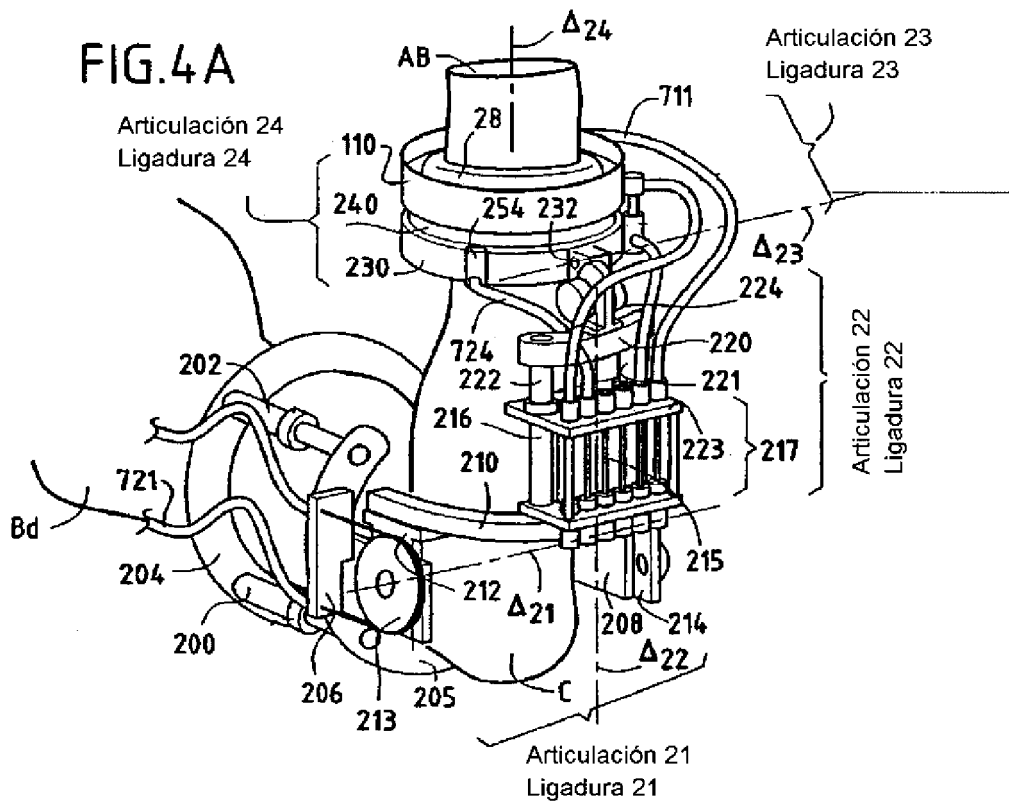
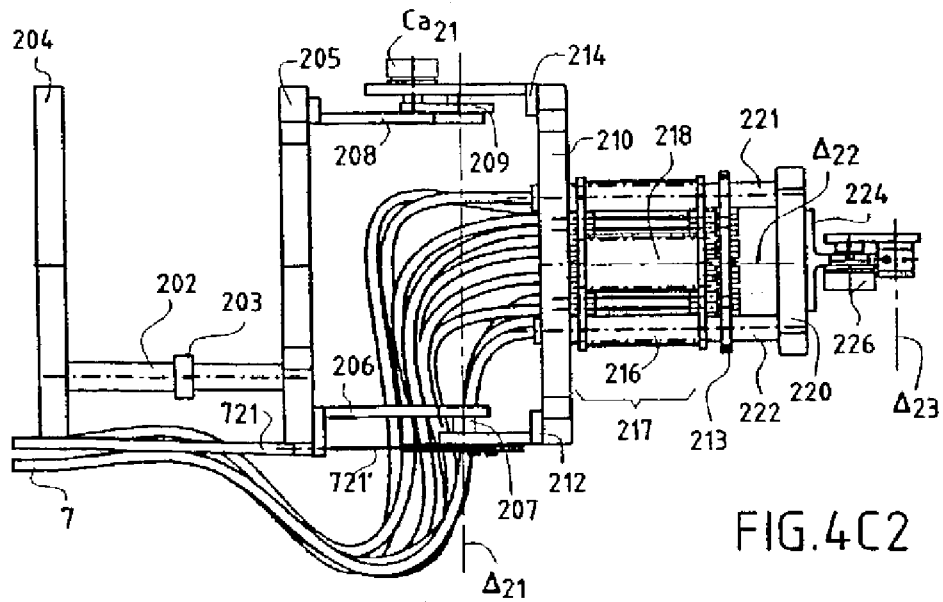
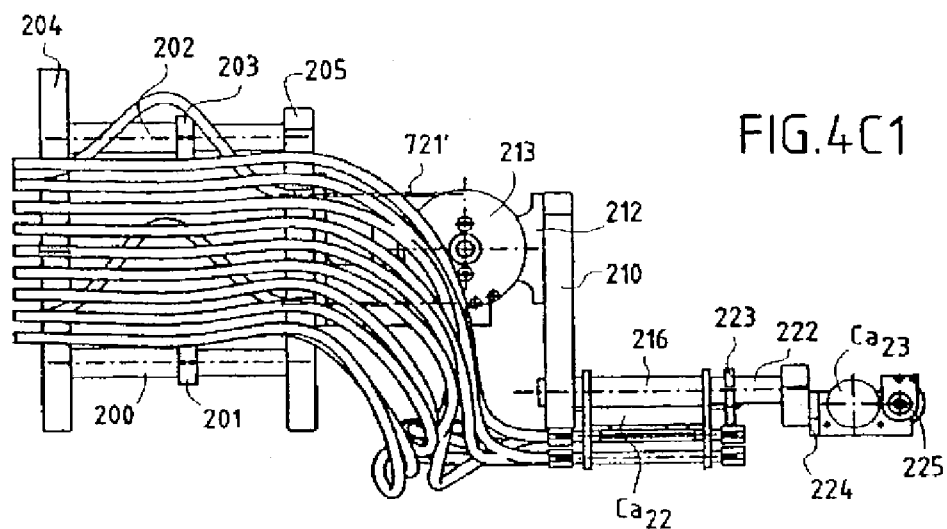


FIG. 3H3
Corte Q/Q





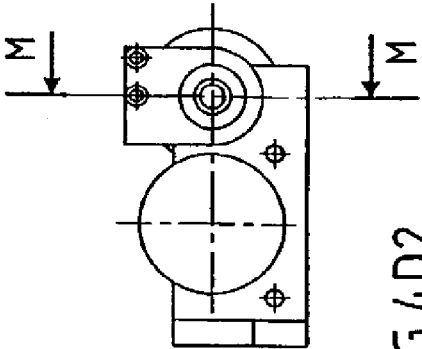


FIG. 4D2

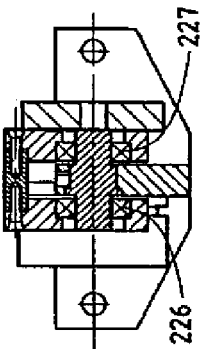


FIG. 4D3

Corte M/M

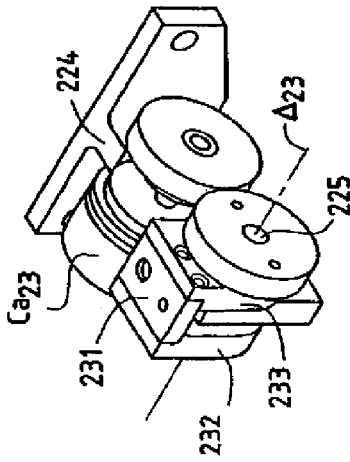


FIG. 4D1

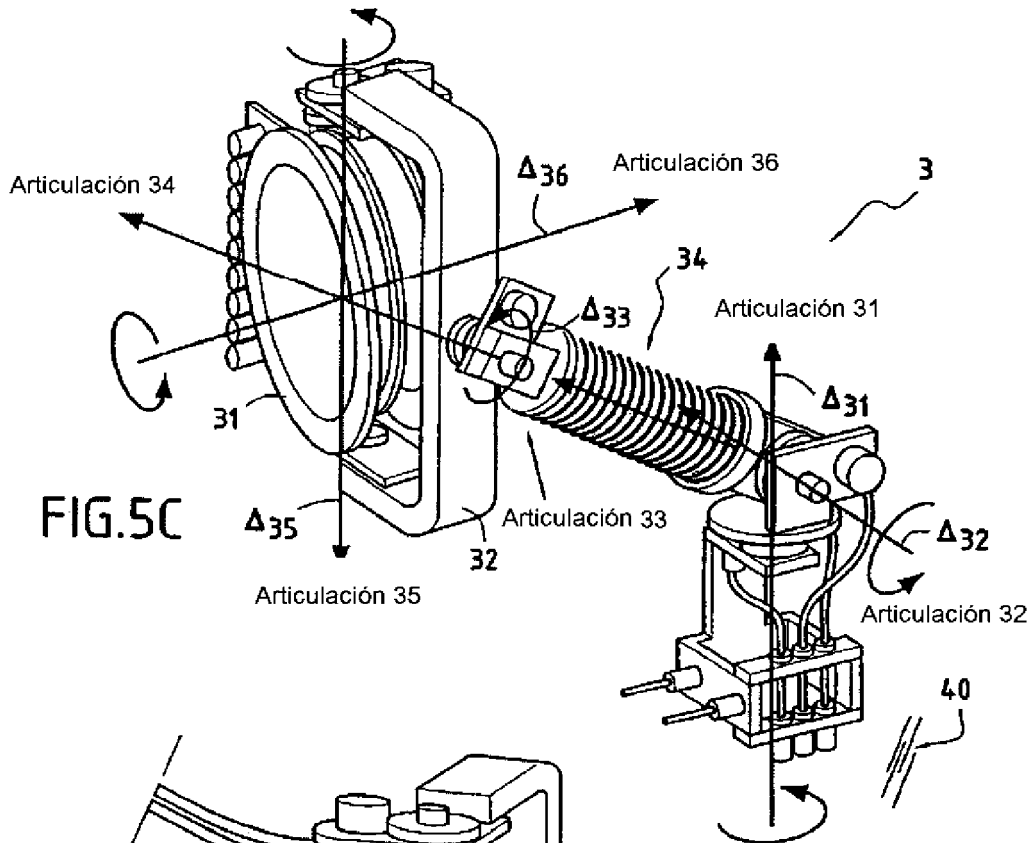


FIG. 5C

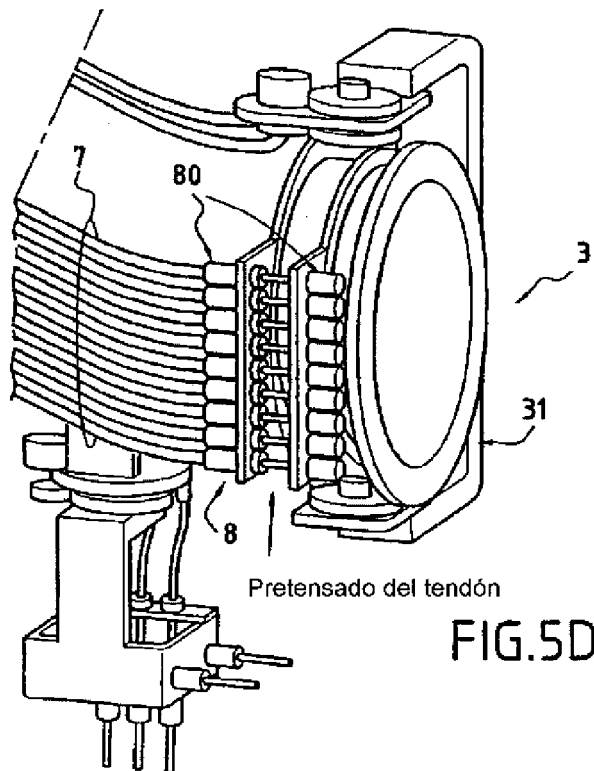


FIG. 5D

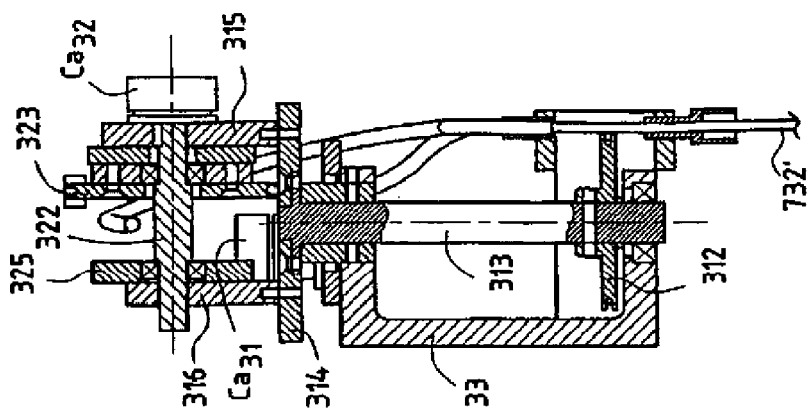


FIG. 5E3
Corte D/D

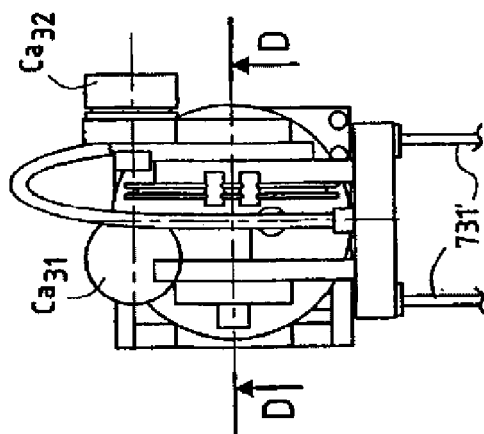


FIG. 5E2

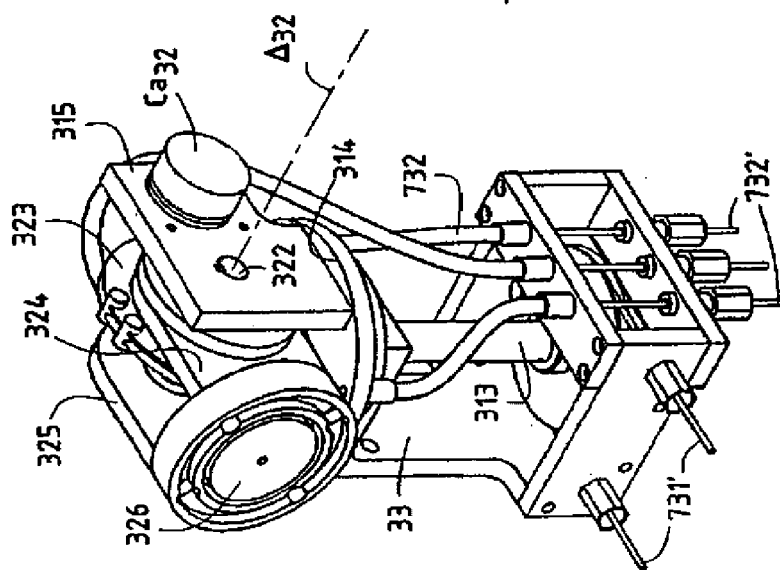


FIG. 5E1

FIG.5F3

Corte A/A

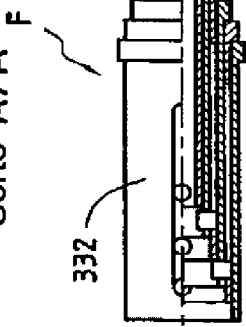


FIG.5F4

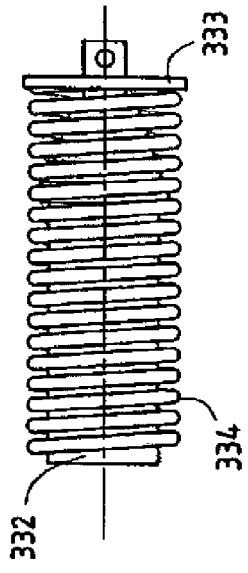
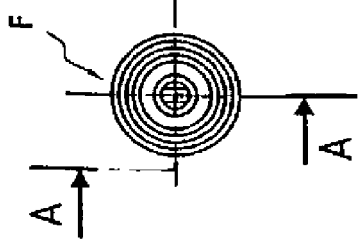


FIG.5F5

FIG.5F1

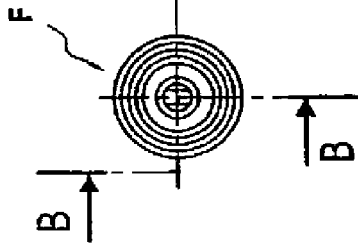
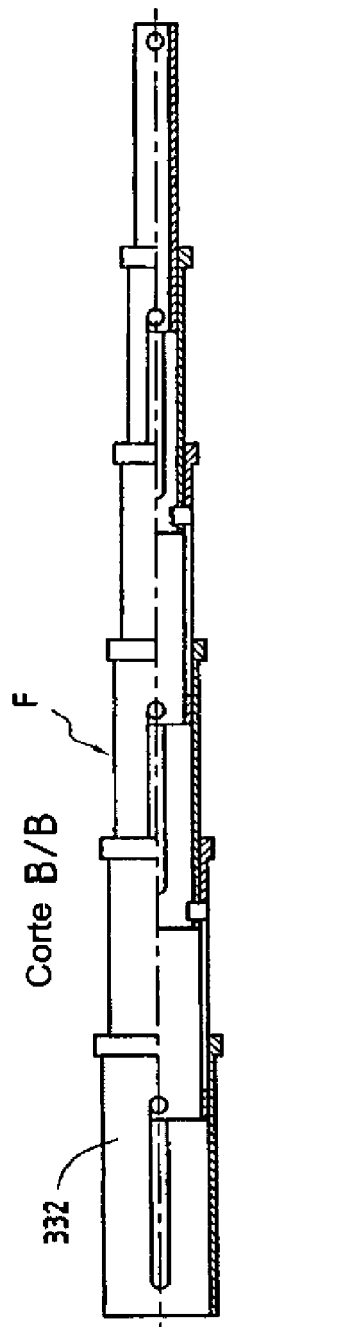


FIG.5F2

Corte B/B



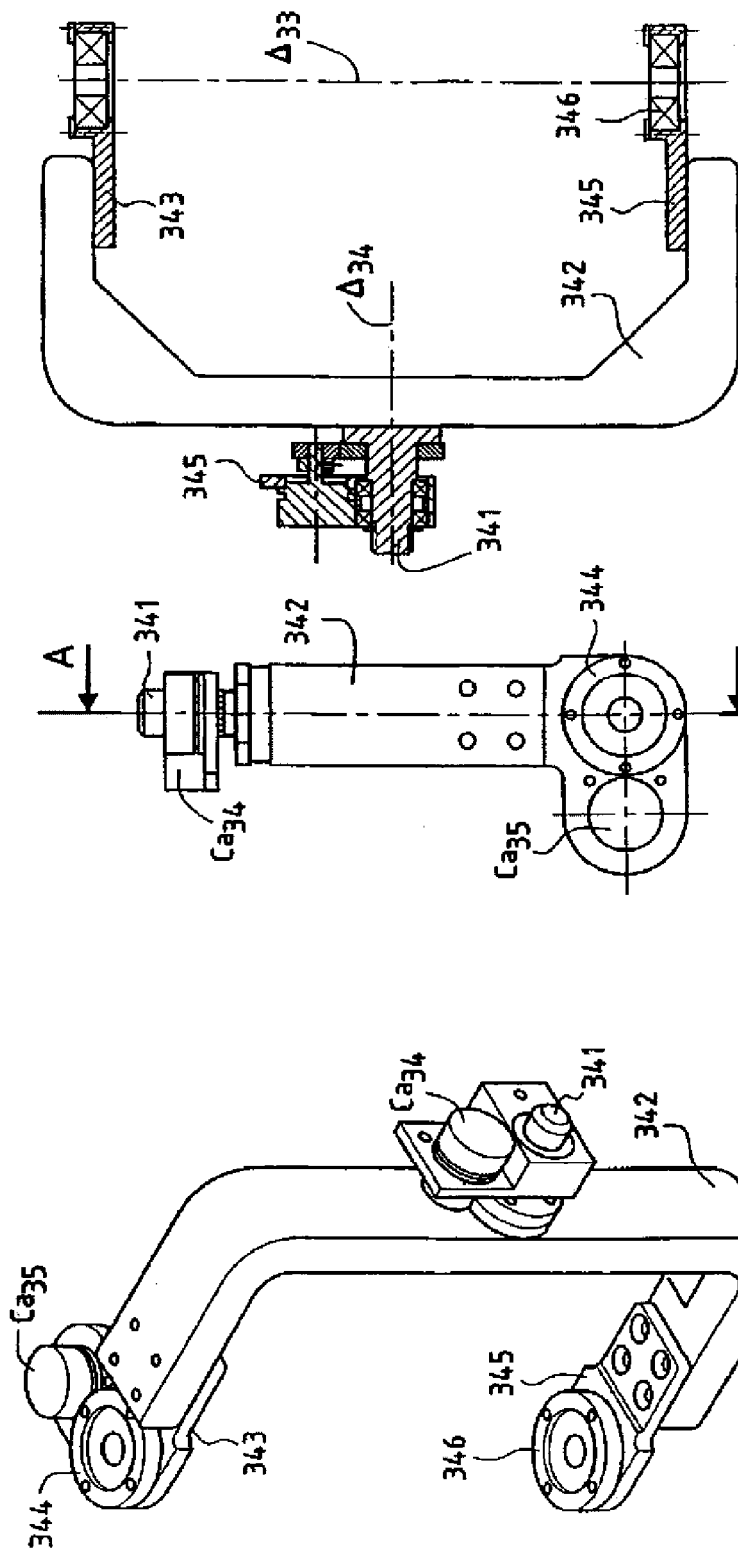
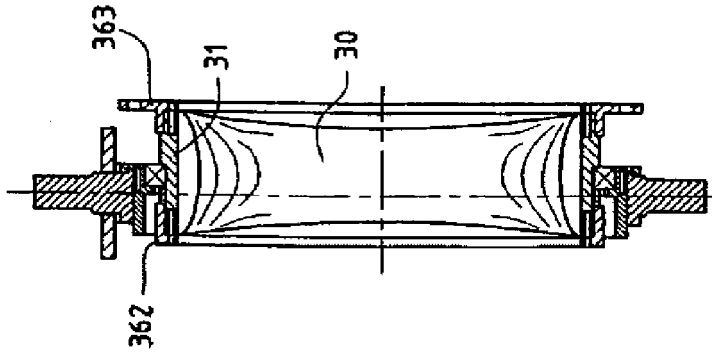
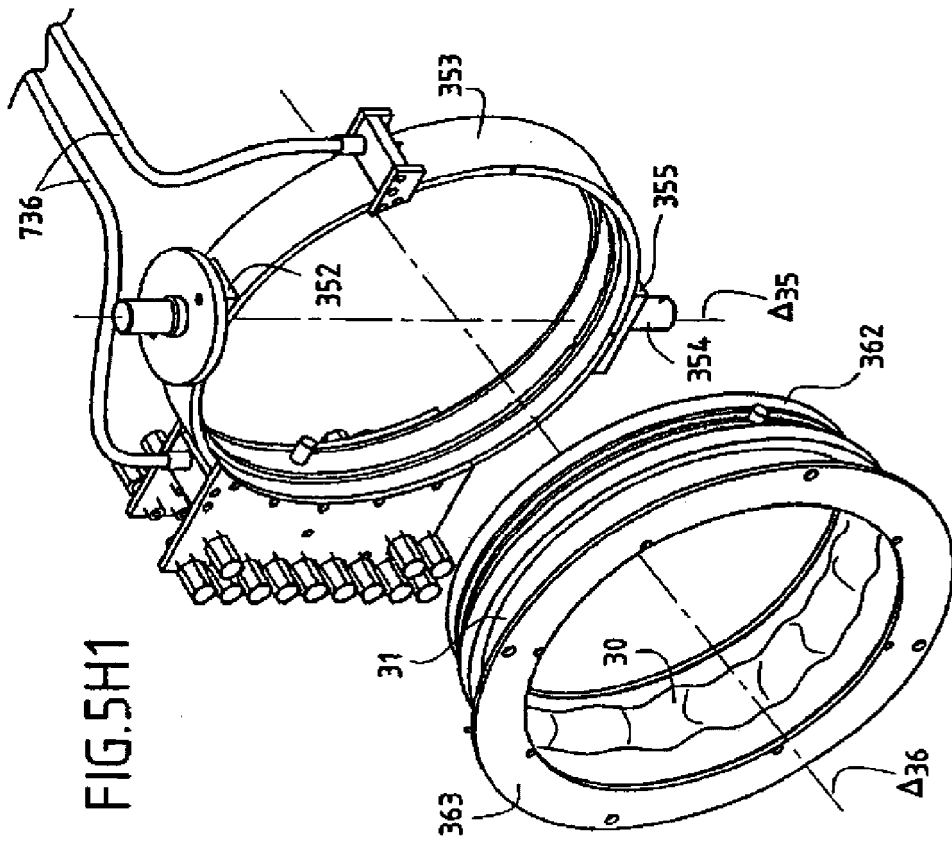


FIG. 5G3
Corte A/A

FIG. 5G2

FIG. 5G1



Corte B/B

