

19

OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 526 726**

21 Número de solicitud: 201330882

51 Int. Cl.:

B25J 9/10 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

13.06.2013

43 Fecha de publicación de la solicitud:

14.01.2015

Fecha de la concesión:

13.10.2015

45 Fecha de publicación de la concesión:

20.10.2015

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2014/070422

73 Titular/es:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS (CSIC) (50.0%)
SERRANO, 117
28006 MADRID (Madrid) ES y
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (50.0%)**

72 Inventor/es:

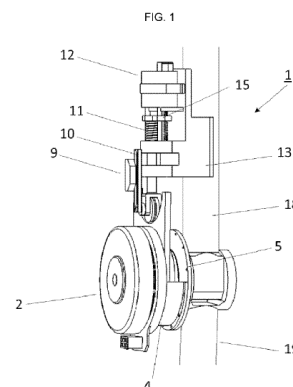
**CESTARI SOTO, Manuel Javier;
SANZ MERODIO, Daniel y
GARCÍA ARMADA, Elena**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier54 Título: **ARTICULACIÓN CON RIGIDEZ CONTROLABLE Y DISPOSITIVO DE MEDICIÓN DE FUERZA**

57 Resumen:

El objeto de la invención es una articulación (1) con rigidez controlable y medición de fuerza, comprende un primer dispositivo (20), que comprende un marco (4) con una cara curva, conectado con un primer elemento motor (2), realizando este primer dispositivo (20) la regulación de la posición de la articulación (1), y un segundo dispositivo (22) que regula la rigidez de la articulación (1), que comprende un elemento de empuje (15) cuyo desplazamiento (D) determina una pre-compresión de un elemento resistivo (11) determinando de este modo la rigidez de la articulación (1), y el primer elemento motor (2) proporciona un giro al marco (4) tal que una rueda (8) del segundo dispositivo (22) recorre la cara curva del marco (4) generando una compresión (C) del elemento resistivo (11) a través de una barra de transmisión (7) asociada a dicha rueda (8) y al elemento resistivo (11).



ES 2 526 726 B1

**ARTICULACIÓN CON RIGIDEZ CONTROLABLE Y
DISPOSITIVO DE MEDICIÓN DE FUERZA**

DESCRIPCIÓN

5

Objeto de la invención

La articulación objeto de la invención se enmarca en el sector de ingeniería mecánica, y se puede utilizar particularmente en el ámbito industrial de la fabricación de aparatos ortopédicos y protésicos, o de dispositivos de ayuda a la movilidad de personas mayores o con discapacidad, en el ámbito de la rehabilitación, exoesqueletos de aumento de potencia y la robótica caminante.

10

Problema técnico a resolver y antecedentes de la invención.

Tanto los animales como los seres humanos son capaces de tener un amplio rango de movimientos estables ante distintos ambientes con perturbaciones impredecibles, para esto es crucial un control dinámico de la rigidez de las articulaciones a fin de permitir su adaptación a estos posibles cambios. Las articulaciones humanas presentan grupos de músculos que permiten controlar tanto la rigidez de la articulación como su posición, permitiendo así la realización de una gran variedad de modos de locomoción y la simultánea adaptación a distintos suelos con costes energéticos aceptables. En la actualidad un gran número de dispositivos relacionados con la locomoción como prótesis, ortesis, exoesqueletos y robots caminantes intentan integrar dispositivos que emulen el funcionamiento de los músculos naturales a fin de obtener movimientos con mejor eficiencia energética, adaptabilidad, e incrementar la seguridad en la interacción hombre-robot.

25

En la búsqueda por obtener articulaciones cuyo comportamiento sea similar al de las humanas, que permitan el aprovechamiento de la dinámica natural de los movimientos y la configuración de las características de la articulación ante los distintos requerimientos del movimiento, numerosos diseños e investigaciones están siendo orientados al desarrollo de articulaciones motorizadas capaces de adaptarse a las perturbaciones de un entorno no conocido y con capacidad de almacenamiento de energía para reducir los costes energéticos de la locomoción.

30

El documento US5650704 presenta uno de los primeros diseños que incorporaban al sistema de actuación un elemento que proporcionase capacidad de adaptación y absorción de choques. Este actuador hace uso de elementos elásticos conectados en serie al tren de

35

transmisión de potencia y además de permitir atribuir algunas de las características del músculo natural a un actuador eléctrico, permite controlar la fuerza ejercida sobre la carga por el actuador. La principal desventaja de este mecanismo se encuentra en que la rigidez del sistema es fija, por lo que está restringido a una velocidad y carga energéticamente
5 óptima de funcionamiento.

Otros diseños se han enfocado en la modificación de la rigidez de la articulación, con fines de optimización energética y aprovechamiento de la dinámica de la locomoción. El documento "P. Cherelle, V. Grosu, P. Beyl, A. Mathys, R. Van Ham, M. Van Damme, B.
10 Vanderborght and D. Lefeber. 'The MACCEPA Actuation System as Torque Actuator in the Gait Rehabilitation Robot ALTACRO' International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (2010)" presenta la incorporación de un actuador mecánicamente adaptable a un exoesqueleto de rehabilitación, dicho actuador permite una interacción segura entre usuario y máquina y satisface los requerimientos de potencia típicos en
15 rehabilitación de locomoción humana. El documento EP1726412A1 presenta el actuador base utilizado en el exoesqueleto mencionado anteriormente, con la ayuda de elementos elásticos y un motor encargado de variación de posición y otro de la rigidez del sistema controlando ambas características de manera independiente. Este diseño está orientado a la rehabilitación y no propiamente a una variación continua de los parámetros de la articulación
20 para alcanzar mayor eficiencia de locomoción.

El documento "Sebastian Wolf and Gerd Hirzinger' *A New Variable Stiffness Design: Matching Requirements of the Next Robot Generation*' 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation". Describe una articulación destinada a un brazo robótico, en el
25 que un arreglo paralelo permite la variación de la rigidez de la articulación, haciéndola adaptable. Además del motor que mueve la articulación es necesario un motor adicional encargado de la adaptabilidad del sistema, con la característica de que ambos operan de forma antagonista, lo que representa un aumento en el consumo energético. Aun así, a través del aprovechamiento de la dinámica del movimiento y la variación oportuna de la
30 rigidez de la articulación, se obtiene a una reducción de la energía neta del ciclo de operación. La medición de fuerza/torque en la articulación se obtiene a través de la incorporación de un sensor externo de pare entre el actuador y la carga.

El documento WO/2012/038931 A1 presenta varias de las configuraciones desarrolladas principalmente por el Instituto Italiano de Tecnología (IIT). Al igual que los diseños previos utilizan 2 motores para actuar de manera independiente sobre la posición de la articulación y
35

la rigidez de la misma, con la novedad de requerir menor energía asociada a la variación de rigidez ya que ésta no opera en la misma dirección de acción de los elementos que mueven la articulación. El documento "Amir Jafari, Nikos G. Tsagarakis and Darwin G. Caldwell. 'AwAS-II: A New Actuator with Adjustable Stiffness based on the Novel Principle of Adaptable Pivot point and Variable Lever ratio' 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation", presenta un actuador de este tipo, cuya implementación final se espera sea en una articulación de rodilla de exoesqueleto. Sin embargo, la disposición de los elementos en esta articulación motorizada resulta en un sistema de dimensiones aún excesivas para la aplicación en exoesqueletos, principalmente por la disposición en paralelo de la mayoría de las piezas del dispositivo y la utilización de un sensor externo de par entre el actuador y la carga.

Todas las articulaciones actuadas que presentan rigidez controlable, se caracterizan por incluir un elemento de medición del par generado en la articulación, conectado en paralelo con el sistema de actuación articular. Al hacer uso de estos elementos conectados tradicionalmente en paralelo con la estructura se obtiene un aumento considerablemente del volumen de la articulación, en absoluto deseable para su uso en exoesqueletos de ayuda a la locomoción pues interesa minimizar su volumen. Esto se puede evidenciar en los diseños del documento WO/2012/038931 A1.

20

Descripción de la invención

El objeto de la invención es una articulación con rigidez controlable y medición de fuerza, comprende un primer dispositivo que realiza la regulación de la posición de la articulación y un segundo dispositivo que regula la rigidez de la articulación.

25

El primer dispositivo comprende un marco conectado con un primer elemento motor y el segundo dispositivo también sirve de anclaje del primer dispositivo a la articulación.

El segundo dispositivo comprende un cuerpo de acople, un elemento resistivo, que puede ser del tipo elástico, de amortiguación o combinación de ambos, una barra de transmisión unida por un extremo al elemento resistivo y en el extremo opuesto comprende una rueda, un elemento de empuje con un husillo roscado a su través, en el que se apoya el elemento resistivo y un segundo motor unido al husillo que proporciona un desplazamiento al elemento de empuje mediante un giro del citado husillo.

35

El desplazamiento del elemento de empuje determina una pre-compresión del elemento resistivo determinando de este modo la rigidez de la articulación, y el primer elemento motor proporciona un giro al marco del primer dispositivo, con el marco teniendo una cara curva tal que, en el giro del marco, la rueda del segundo dispositivo recorre la cara curva del marco, y la barra de transmisión asociada a dicha rueda ocasiona una compresión del elemento resistivo del segundo dispositivo, de modo que esta compresión determina una fuerza desarrollada por el elemento resistivo conocida como F_{empuje} .

El segundo dispositivo de la articulación objeto de la invención comprende un elemento de medición rotacional conectado al segundo motor, dicho elemento de medición rotacional cuenta las revoluciones de un eje del segundo motor, de modo que el desplazamiento del elemento de empuje se conoce realizando una conversión de las revoluciones del segundo motor y del paso del husillo siendo equivalente una revolución del segundo motor al paso del husillo en el desplazamiento lineal del elemento de empuje asociado al husillo, de modo que el desplazamiento del elemento de empuje se conoce mediante la relación:

$$\text{Desplazamiento} = \text{Revoluciones} \cdot \text{Paso}.$$

El segundo dispositivo de la articulación objeto de la invención comprende un elemento de medición lineal y una regla graduada conectada a la barra de transmisión, tales que la compresión que sufre el elemento resistivo asociada al giro del marco se conoce a través del elemento de medición lineal que mide sobre la regla graduada el desplazamiento de la barra de transmisión.

La articulación objeto de la invención aprovecha el elemento resistivo asociado a su rigidez para obtener la medida del par generado en la articulación mediante la relación:

$$\text{Par} = \vec{b} \times \vec{F}_n, \text{ que se convierte en } \text{Par} = \bar{b} \cdot F_n \cdot \text{sen}(\varphi^*)$$

donde

- \bar{b} , es un vector que representa una distancia entre un eje de rotación de la articulación (O) y un punto de contacto del marco (4) con la rueda (8), y
- F_n , es la fuerza de contacto entre las superficies del marco (4) y de la rueda (8) en sentido radial de la rueda (8);
- φ^* es un ángulo entre el vector \vec{b} y el vector \vec{F}_n ,

El valor de \bar{b} se obtiene de la relación: $\bar{b} = \sqrt{\overline{OB}^2 + R^2 - 2 \cdot \overline{OB} \cdot R \cdot \cos(\beta)}$ siendo β el ángulo complementario que define la inclinación del vector de la fuerza de contacto \vec{F}_n , y se obtiene mediante la relación $\beta = \overline{OA} \cdot \frac{\text{sen}(\theta)}{\overline{BA}}$, siendo θ el ángulo de deflexión.

5 El valor de θ se obtiene de la expresión $\theta = \arccos \left[\frac{\overline{OB}^2 + \overline{OA}^2 - \overline{BA}^2}{2 \overline{OB} \cdot \overline{OA}} \right]$, donde

- \overline{OB} : distancia del eje de rotación de la articulación (O) al centro de curvatura de la cara curvada del marco (B);

- \overline{OA} : distancia del eje de rotación de la articulación (O) al centro de la rueda (A);

10 - \overline{BA} : distancia del centro de curvatura del marco (B) al centro de la rueda (A)

El valor de φ^* se obtiene de la expresión $\varphi^* = \beta + \varphi + \theta$, donde

$$- \varphi = \arccos \left[\frac{\bar{b}^2 + \overline{OA}^2 - r^2}{2 \cdot \bar{b} \cdot \overline{OA}} \right]$$

15 El valor de F_n se obtiene de la expresión $F_n = F_{empuje} \cdot \cos(\varphi)$

El valor de F_{empuje} se obtiene de la expresión $F_{empuje} = K \cdot C + A \cdot Vel$, siendo K la constante característica del elemento resistivo (11), C la compresión del elemento resistivo (11), A la constante de amortiguación del elemento resistivo (11) y Vel la velocidad de la compresión del elemento resistivo (11) cuando la configuración del sistema los contenga..

20

El primer dispositivo de la articulación objeto de la invención comprende además del marco y del primer elemento motor: un reductor que tiene una parte fija y una salida, estando unido el marco a la parte fija del reductor; un primer disco conectado a la salida del reductor; y un segundo disco, conectado con el marco, en el que se inserta el primer disco.

25

El cuerpo de acople del segundo dispositivo de la articulación objeto de la invención comprende unos canales guía que guían el movimiento del elemento de empuje y unos huecos pasantes pasando por estos huecos pasantes la barra de transmisión.

30

En la articulación con rigidez controlable y dispositivo de medición de fuerza objeto de la invención el elemento de empuje es una pieza plana cuyo movimiento está limitado por los canales guía del cuerpo de acople del segundo dispositivo.

Descripción de las figuras

5 Para completar la descripción y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características del invento, se acompaña a esta memoria descriptiva, como parte integrante de la misma, un conjunto de dibujos en dónde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

10 La figura 1 muestra una vista en alzado de una realización de la articulación objeto de la invención.

La figura 2 muestra una vista en explosión de una realización de la articulación objeto de la invención.

15 La figura 3 muestra una vista frontal de la articulación en posición neutra y con deflexión.

La figura 4 muestra una vista frontal de la articulación con distinta pre compresión.

20 La figura 5 muestra la articulación resaltando la influencia de la deflexión y compresión del elemento resistivo en los ángulos de contacto, en ella se observan las relaciones geométricas que permiten obtener la fuerza F_n de reacción en función de la componente "vertical" F_{empuje} .

La figura 6 muestra una vista en alzado de los elementos de variación de la posición.

25 La figura 7 muestra una vista en alzado de los elementos de fijación y control de rigidez.

La figura 8 muestra las cuatro configuraciones del elemento resistivo, elástico amortiguado fijo, elástico amortiguado variable, solo elástico o solo amortiguado regulable.

30 A continuación se proporciona una lista de los distintos elementos representados en las figuras que integran la invención:

35 1.- articulación, 2.- primer elemento motor, 3.- reductor, 4.- marco, 5.- segundo disco, 6.- primer disco, 7.- barra de transmisión, 8.- rueda, 9.- elemento de medición lineal, 10.- regla graduada, 11.- elemento resistivo, 12.- segundo elemento motor, 13.- cuerpo de acople, 14.- canales de guía, 15.- elemento de empuje, 16.- husillo, 17.- elemento de medición

rotacional, 18.-primer cuerpo, 19.- segundo cuerpo, 20.- primer dispositivo, 21.- hueco pasante, 22.- segundo dispositivo; O.- eje de rotación de la articulación; A.- centro de la rueda; B.- centro de curvatura del marco; C.- Desplazamiento de la barra de transmisión, D.- Pre compresión. K.- constante característica del elemento resistivo, A.- constante de amortiguación del elemento resistivo.

Descripción de una forma de realización de la invención

A la vista de lo anteriormente enunciado y haciendo referencia a la numeración adoptada en las figuras, el objeto de la invención es una articulación (1) con rigidez controlable, que permite controlar el movimiento automático de rotación de un primer cuerpo (18) y un segundo cuerpo (19) unidos en un punto pivote y simultáneamente permite controlar la rigidez de dicho movimiento de rotación.

La articulación (1) objeto de la invención presenta la posibilidad de regular su posición y su rigidez de manera independiente, y para esta regulación utiliza dos dispositivos (20, 22) dispuestos en serie a lo largo de la citada articulación (1) de manera que la presencia de los dos dispositivos (20, 22) no provoca un incremento del volumen total respecto una articulación (1) que no tuviera los citados dispositivos (20, 22) para la regulación de posición y rigidez que la articulación (1) objeto de la invención tiene. Mediante estas regulaciones la articulación (1) objeto de la invención permite medir la fuerza desarrollada en la articulación (1), con los dispositivos que regulan la posición y la rigidez de la articulación (1).

La articulación (1) objeto de la invención (observable en las figuras 1 y 2) comprende un primer dispositivo (20) (observable en la figura 6), que realiza la regulación de la posición de la articulación (1), este primer dispositivo (20) comprende los siguientes elementos:

- un marco (4) conectado con un primer elemento motor (2), que cuenta con una cara curva;
- un reductor (3) que tiene una parte fija y una salida, estando unido el marco (4) a la parte fija del reductor (3);
- un primer disco (6) conectado a la salida del reductor (3);
- un segundo disco (5), conectado con el marco (4), en el que se inserta el primer disco (6).

Las uniones entre las piezas que componen este primer dispositivo (20) se realizan mediante tornillería.

Este primer dispositivo (20) (observable en la figura 6), se conecta al primer cuerpo (18) en el punto en el que el primer cuerpo (18) se conecta de manera pivotante respecto al segundo cuerpo (19).

- 5 El segundo dispositivo (22) es un dispositivo que regula la rigidez de la articulación (1) (observable en la figura 7) y que actúa como anclaje del primer dispositivo (20). El segundo dispositivo (22) comprende los siguientes elementos:
- un cuerpo de acople (13), que comprende unos canales guía (14) y unos huecos pasantes (21), con el cuerpo de acople (13) abrazando el primer cuerpo (18);
 - 10 - un elemento resistivo (11), con distintas configuraciones (observable en la figura 7);
 - una barra de transmisión (7) que se desplaza por el interior de los huecos pasantes (21) del cuerpo de acople (13), la barra de transmisión (7) está unida por un extremo al elemento resistivo (11) y en el extremo opuesto comprende una rueda (8), con la rueda (8) estando en contacto con la cara curva del marco (4) del primer
 - 15 dispositivo (20);
 - un elemento de empuje (15) que se desplaza guiado por los canales guía (14) del cuerpo de acople (13) y que está en contacto con el elemento resistivo (11);
 - un segundo motor (12) que modifica la posición del elemento de empuje (15) a través de un husillo (16) roscado en el citado elemento de empuje (15);
 - 20 - un elemento de medición lineal (9), que es fijo en el cuerpo de acople (13);
 - una regla graduada (10), conectada a la barra de transmisión (7) que se desplaza por el interior del elemento de medición lineal (9).

El elemento resistivo (11) está formado por la combinación de dos elementos: un elemento

25 elástico (que tiene una constante característica K) y un elemento amortiguador (con una constante de amortiguación A) y las posibles combinaciones entre ellos. Además el elemento amortiguador tiene dos posibles opciones: que sea un amortiguador fijo o un amortiguador variable.

30 El elemento de empuje (15) en una realización de la invención es una pieza plana que va guiada dentro de los canales guía (14) del cuerpo de acople (13), sobre esta pieza plana se apoya el elemento resistivo (11), de modo que mediante el desplazamiento del elemento de empuje (15) se puede realizar una pre-compresión del citado elemento resistivo (11). Asimismo la barra de transmisión (7) está unida a este elemento resistivo (11).

35

El segundo motor (12) a través del husillo (16), modifica la posición del elemento de empuje (15) que se desplaza sobre los canales guía (14), mediante la variación de la posición del elemento de empuje (15) se modifica la pre-compresión del elemento resistivo (11) del segundo dispositivo (22). Como este elemento de empuje (15) es el elemento en el que se
 5 apoya el elemento resistivo (11) la posición en la que se encuentra el elemento de empuje (15) determina la pre-compresión del citado elemento resistivo (11).

Siendo el elemento resistivo (11) el asociado a la fuerza de empuje de la barra de transmisión (7) y la rueda (8) estando en contacto con el marco (4), es la pre-compresión del
 10 elemento resistivo (11), junto con los valores de las constantes K y A del elemento resistivo (11) las que determinan la rigidez de la articulación (observable en figura 4).

La pre-compresión inicial del elemento resistivo (11) es conocida gracias a un elemento de medición rotacional (17) conectado al segundo motor (12). Dicho elemento de medición
 15 rotacional (17) es un encoder rotacional que permite conocer las vueltas del eje del segundo motor (12) cuando dicho segundo motor (12) está en movimiento. Para conocer la pre-compresión inicial hay que realizar una conversión de las revoluciones del segundo motor (12) y del paso del husillo (16) siendo equivalente una vuelta del segundo motor (12) al paso del husillo (16) en el desplazamiento lineal del citado husillo (16).

20 La conversión de las revoluciones del segundo motor (12) y el paso del husillo (16) al desplazamiento lineal del elemento de empuje (15), es tal que conocido el paso del husillo (16) y el número de vueltas dadas por el segundo motor (12), se conoce el desplazamiento lineal del elemento de empuje (15) conectado al husillo (16) mediante la relación:

25

$$\text{Desplazamiento} = N \cdot P$$

Siendo:

- D: Desplazamiento del elemento de empuje (15),
- N: N° de vueltas del segundo motor (12),
- 30 - P: Paso del husillo (16).

El elemento de medición lineal (9) en la realización preferente de la invención es un encoder lineal, el cual en combinación con la regla graduada (10) realiza la medición en la regla graduada (10) de los desplazamientos lineales de la barra de transmisión (7).

35

Con el elemento de empuje (15) fijado en una posición, es decir la rigidez de la articulación (1) ya fijada, es la forma del marco (4) del primer dispositivo (20) la que ocasiona una compresión del elemento resistivo (11) del segundo dispositivo (22) ante la presencia de deflexión en la articulación (1) (observar figura 3).

5

La forma geométrica del marco (4) contribuye a la medición de par y a un bloqueo mecánico que permite alcanzar un máximo de deflexión a ajustar dependiendo de la geometría del marco (4).

10 El segundo dispositivo (22), actúa como anclaje del primer dispositivo (20), a través del contacto de la rueda (8) sobre la cara curva del marco (4), la rueda (8) ejerce presión acorde a la fuerza transmitida por la barra de transmisión (7) unida al elemento resistivo (11) desplazándose la barra de transmisión (7) por el interior de los huecos pasantes (21).

15 El segundo dispositivo (22) puede modificar su geometría permitiendo una mayor o menor deflexión en la articulación (1) (como se observa en la figura 3). Con las relaciones trigonométricas entre los elementos del segundo dispositivo (22) se puede medir el par de la articulación (1) para un control de la fuerza en la articulación (1).

20 Cuando el primer elemento motor (2) del primer dispositivo (20) ejerce un par y el marco (4) realiza un movimiento rotacional, la rueda (8) del segundo dispositivo (22) recorre la cara curva del citado marco (4) transmitiendo una reacción a lo largo de la barra de transmisión (7) que está conectada al elemento resistivo (11). El elemento resistivo (11), dependiendo de su pre-compresión, ejerce mayor o menor resistencia a su deformación, de lo que
25 depende la deflexión de la articulación (ver figura 3 y 4).

La deflexión se refiere a un giro en el marco (4) y por tanto en el primer dispositivo (20), sin necesidad de que ocurra ninguna variación en la posición de la articulación (1), o al caso opuesto, es decir aquel en el que la articulación (1) permite un giro aún cuando el primer
30 elemento motor (2) no ha generado el movimiento.

La articulación (1) objeto de la presente invención evita la presencia de elementos adicionales de medida de par en la articulación (1) al aprovechar distintas funcionalidades de los componentes estructurales que pueden utilizarse simultáneamente como sensores.

35

La articulación (1) objeto de la invención realiza una medición de fuerza de una de las

componentes de F_n , siendo esta componente la que viene dada por la fuerza resistivo del elemento resistivo (11) (F_{empuje}). En la figura 4 se observan las relaciones geométricas que permiten obtener la fuerza F_n resistivo en función de la componente “vertical”, esto es en función de F_{empuje} .

5

La regla graduada (10) y el elemento de medición lineal (9) permiten conocer la compresión (D) del elemento resistivo (11) y la velocidad al conocer el tiempo en el que esta compresión ocurre (Velocidad = Espacio / Tiempo).

10 Así, conociendo las características intrínsecas del elemento resistivo (11) (principalmente las constantes “K” y “A” de los elementos que componen citado elemento resistivo (11)) y los valores medidos por los elementos de medición (9, 17) es posible conocer la fuerza reactiva en el segundo dispositivo (22).

15 Conocida la pre-compresión del elemento resistivo (11), es decir, el desplazamiento que ha sufrido el elemento de empuje (15) movido por el husillo (16) asociado al segundo motor (12), el elemento de medición lineal (9) nos da la lectura del desplazamiento (C) que ha sufrido la barra de transmisión (7) en la deflexión de la articulación (1), y la fuerza resistiva del elemento resistivo (F_{empuje}) se obtiene de:

20

$$F_{empuje} = K \cdot C + A \cdot Vel$$

Para llegar a conocer el par desarrollado por la articulación, es necesario conocer el valor de F_n , siendo F_n la fuerza de contacto entre las superficies del marco (4) y de la rueda (8) en sentido radial de la rueda (8).

25

$$Par = \vec{b} \times \vec{F}_n$$

La fuerza \vec{F}_n puede descomponerse en:

- una fuerza perpendicular soportada por la estructura (F_{estruc}), y
- la fuerza de reacción del elemento resistivo (11) (F_{empuje}) en el sentido de la compresión.

30

$$F_n = F_{empuje} \cdot \cos(\varphi)$$

$$\varphi = \arccos \left[\frac{\overline{b}^2 + \overline{OA}^2 - r^2}{2 \cdot \overline{b} \cdot \overline{OA}} \right]$$

- \overline{b} , es el vector que representa la distancia de “brazo” entre el eje de rotación de la articulación (O) y el punto de contacto del marco (4) con la rueda (8); y se conoce de la relación, (ver figura 4)

$$\overline{b} = \sqrt{\overline{OB}^2 + R^2 - 2 \cdot \overline{OB} \cdot R \cdot \cos(\beta)}$$

5

donde (ver figura 4),

- \overline{OB} , es la distancia del eje de rotación de la articulación (1) al centro de curvatura del marco (B);

10 - \overline{OA} , es la distancia del eje de rotación de la articulación (O) al centro de la rueda (A) que es dependiente de la compresión del elemento resistivo (11);

- \overline{BA} , es la distancia del centro de curvatura del marco (B) al centro de la rueda (A).

- β es el ángulo complementario que define la inclinación del vector de la fuerza de contacto

15 Con la ecuación 2, la expresión del ángulo complementario β que define la inclinación del vector de la fuerza de contacto se obtiene de (ver figura 4):

$$\beta = \overline{OA} \cdot \frac{\text{sen}(\theta)}{\overline{BA}}$$

- θ , es el ángulo de deflexión, que se calcula de acuerdo a la fórmula;

$$\theta = \arccos \left[\frac{\overline{OB}^2 + \overline{OA}^2 - \overline{BA}^2}{2 \overline{OB} \cdot \overline{OA}} \right]$$

20 La medida del par generado se obtiene, como ya se ha mencionado, mediante la relación:

$$Par = \vec{b} \times \vec{F}_n$$

$$Par = \overline{b} \cdot F_n \cdot \text{sen}(\varphi^*)$$

- siendo φ^* el ángulo entre los vectores de brazo y fuerza, que viene dado por la expresión:

$$\varphi^* = \beta + \varphi + \theta$$

5

Como ya se ha mencionado, mediante el elemento de medición lineal (9) y la regla graduada (10) se conoce la compresión (D) del elemento resistivo (11), además, al estar restringido el movimiento del elemento de empuje (15), por la barra de transmisión (7) que se desplaza dentro de los huecos pasantes (21) se conoce:

10

La invención divulga una articulación (1) actuada con rigidez controlable y dispositivo de medición de fuerza, que presenta una distribución de elementos compacta a fin de reducir el volumen de la articulación (1) y que aprovecha el elemento resistivo (11) asociado a su rigidez para proporcionar una medida del par generado.

15

La invención no debe verse limitada a la realización particular descrita en este documento. Expertos en la materia pueden desarrollar otras realizaciones a la vista de la descripción aquí realizada. En consecuencia, el alcance de la invención se define por las siguientes reivindicaciones.

20

REIVINDICACIONES

1.- Articulación (1) con rigidez controlable y medición de fuerza, caracterizada por que comprende dos dispositivos:

- 5 - un primer dispositivo (20), que comprende un marco (4) conectado con un primer elemento motor (2), realizando este primer dispositivo (20) la regulación de la posición de la articulación (1),
- un segundo dispositivo (22) que regula la rigidez de la articulación (1) y que sirve de anclaje del primer dispositivo (20) a la articulación (1), que comprende:
- 10 - un cuerpo de acople (13) sobre el que se colocan el resto de componentes del segundo dispositivo (22),
- un elemento resistivo (11),
- una barra de transmisión (7) unida por un extremo al elemento resistivo (11) y en el extremo opuesto comprende una rueda (8),
- 15 - un elemento de empuje (15) con un husillo (16) roscado a su través, en el que se apoya el elemento resistivo (11),
- un segundo motor (12) unido al husillo (16) que proporciona un desplazamiento (D) al elemento de empuje (15) mediante un giro del citado husillo (16),

20

donde el desplazamiento (D) del elemento de empuje (15) determina una pre-compresión del elemento resistivo (11) determinando de este modo la rigidez de la articulación (1), y el primer elemento motor (2) proporciona un giro al marco (4) del primer dispositivo (20), con el marco (4) teniendo una cara curva tal que, en el giro del marco (4), la rueda (8) del segundo

25 dispositivo (22) recorre la cara curva del marco (4), y la barra de transmisión (7) asociada a dicha rueda (8) ocasiona una compresión (C) del elemento resistivo (11) del segundo dispositivo (22), de modo que esta compresión (C) y la velocidad con la que ocurre determina una fuerza desarrollada por el elemento resistivo (11) conocida como F_{empuje} .

30

2.- Articulación (1) con rigidez controlable y dispositivo de medición de fuerza, según la reivindicación 1, caracterizada por que el elemento resistivo (11) comprende un elemento seleccionado entre un elemento elástico con una constante propia K, un elemento amortiguador con una constante propia A y combinación de los anteriores.

35

3.- Articulación (1) con rigidez controlable y dispositivo de medición de fuerza, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que el segundo dispositivo

(22) comprende un elemento de medición rotacional (17) conectado al segundo motor (12), dicho elemento de medición rotacional (17) cuenta las revoluciones de un eje del segundo motor (12), de modo que el desplazamiento (D) del elemento de empuje (15) se conoce realizando una conversión de las revoluciones del segundo motor (12) y del paso del husillo (16) siendo equivalente una revolución del segundo motor (12) al paso del husillo (16) en el desplazamiento lineal del elemento de empuje (15) asociado al husillo (16), de modo que el desplazamiento (D) del elemento de empuje (15) se conoce mediante la relación $D = \text{Revoluciones} \cdot \text{Paso}$.

4.- Articulación (1) con rigidez controlable y dispositivo de medición de fuerza, según la reivindicación 3, caracterizada por que el segundo dispositivo (22) comprende un elemento de medición lineal (9) y una regla graduada (10) conectada a la barra de transmisión (7), tales que la compresión (C) que sufre el elemento resistivo (11), y la velocidad con la que ocurre, asociada al giro del marco (4) se conoce a través del elemento de medición lineal (9) que mide sobre la regla graduada (10) el desplazamiento de la barra de transmisión (7).

5.- Articulación (1) con rigidez controlable y dispositivo de medición de fuerza, según la cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que aprovecha el elemento resistivo (11) asociado a su rigidez para obtener la medida de un par generado en la articulación (1) mediante la relación:

$$\text{Par} = \vec{b} \times \vec{F}_n, \text{ que se convierte en } \text{Par} = \bar{b} \cdot F_n \cdot \text{sen}(\varphi^*)$$

donde

- \bar{b} , es un vector que representa una distancia entre un eje de rotación de la articulación (O) y un punto de contacto del marco (4) con la rueda (8), y

- F_n , es la fuerza de contacto entre las superficies del marco (4) y de la rueda (8) en sentido radial de la rueda (8);

- φ^* es un ángulo entre el vector \vec{b} y el vector \vec{F}_n ,

donde

- \bar{b} se obtiene de la relación: $\bar{b} = \sqrt{\overline{OB}^2 + R^2 - 2 \cdot \overline{OB} \cdot R \cdot \cos(\beta)}$ siendo β el ángulo complementario que define la inclinación del vector de la fuerza de contacto \vec{F}_n , y se obtiene mediante la relación $\beta = \overline{OA} \cdot \frac{\text{sen}(\theta)}{BA}$, siendo θ el ángulo de deflexión,

$$\text{que se obtiene de } \theta = \text{acos} \left[\frac{\overline{OB}^2 + \overline{OA}^2 - \overline{BA}^2}{2\overline{OB} \cdot \overline{OA}} \right],$$

siendo:

- \overline{OB} : distancia del eje de rotación de la articulación (O) al centro de curvatura de la cara curvada del marco (B);

- \overline{OA} : distancia del eje de rotación de la articulación (O) al centro de la rueda (A);

5 - \overline{BA} : distancia del centro de curvatura del marco (B) al centro de la rueda (A)

- φ^* se obtiene de la expresión $\varphi^* = \beta + \varphi + \theta$,

siendo:

$$- \varphi = \arccos \left[\frac{\overline{b}^2 + \overline{OA}^2 - r^2}{2 \cdot \overline{b} \cdot \overline{OA}} \right]$$

10 - $F_n = F_{empuje} \cdot \cos(\varphi)$

siendo:

$$- F_{empuje} = K \cdot C + A \cdot Vel$$

siendo K y A las constantes característica del elemento resistivo (11), C la compresión del elemento resistivo (11) y Vel la velocidad con la que dicha

15 compresión ocurre en el elemento resistivo (11).

6.- Articulación (1) con rigidez controlable y dispositivo de medición de fuerza, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que el primer dispositivo (20) comprende, además del marco (4) y el primer elemento motor (2):

20 - un reductor (3) que tiene una parte fija y una salida, estando unido el marco (4) a la parte fija del reductor (3),

- un primer disco (6) conectado a la salida del reductor (3),

- un segundo disco (5), conectado con el marco (4), en el que se inserta el primer disco (6).

25

7.- Articulación (1) con rigidez controlable y dispositivo de medición de fuerza, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que el cuerpo de acople (13) del segundo dispositivo (22) comprende unos canales guía (14) que guían el movimiento del elemento de empuje (15) y unos huecos pasantes (21) pasando por estos huecos pasantes (21) la barra de transmisión (7).

30

8.- Articulación (1) con rigidez controlable y dispositivo de medición de fuerza, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que el elemento de empuje (15) es una pieza plana cuyo movimiento está limitado por los canales guía (14) del cuerpo de acople (13) del segundo dispositivo (22).

35

FIG. 1

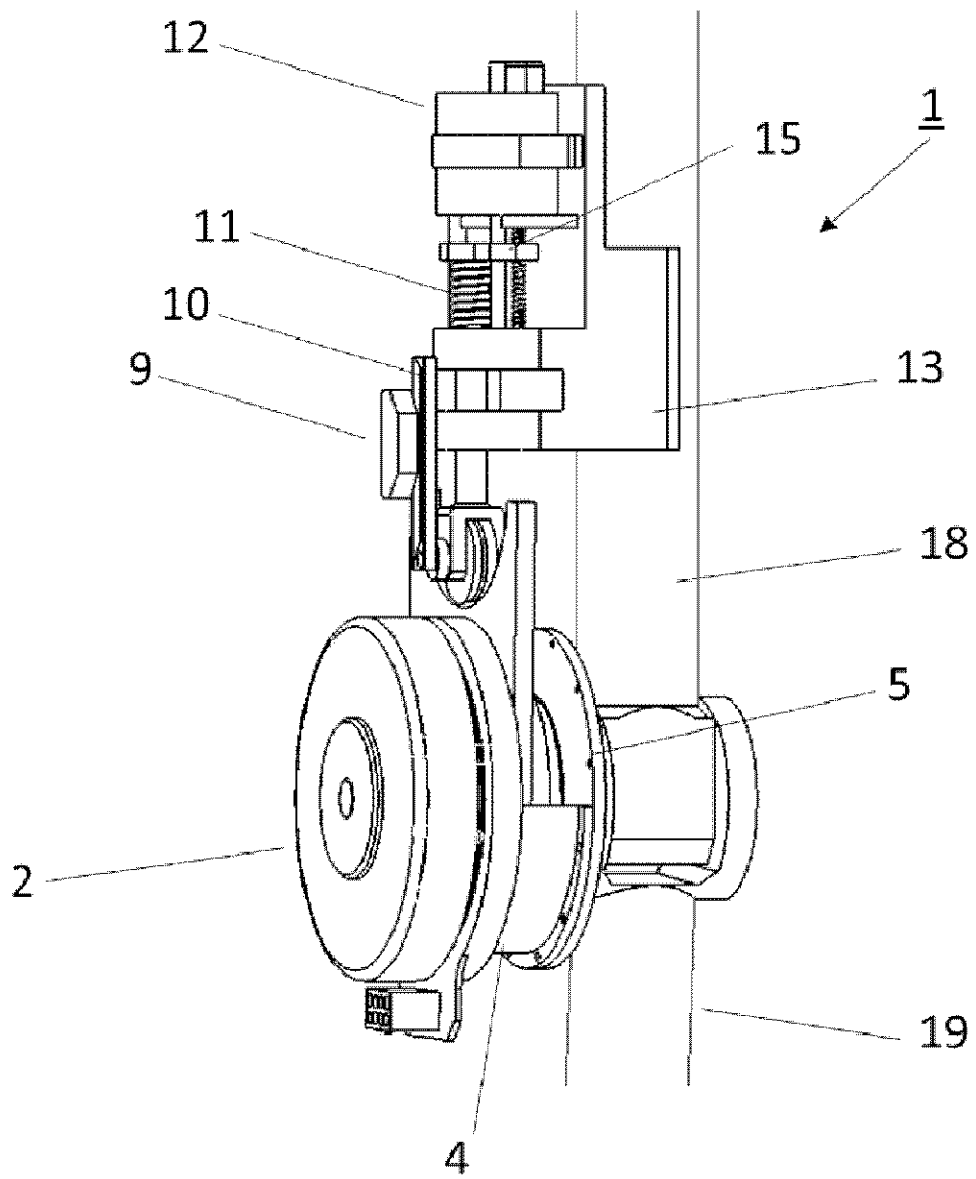


FIG. 2

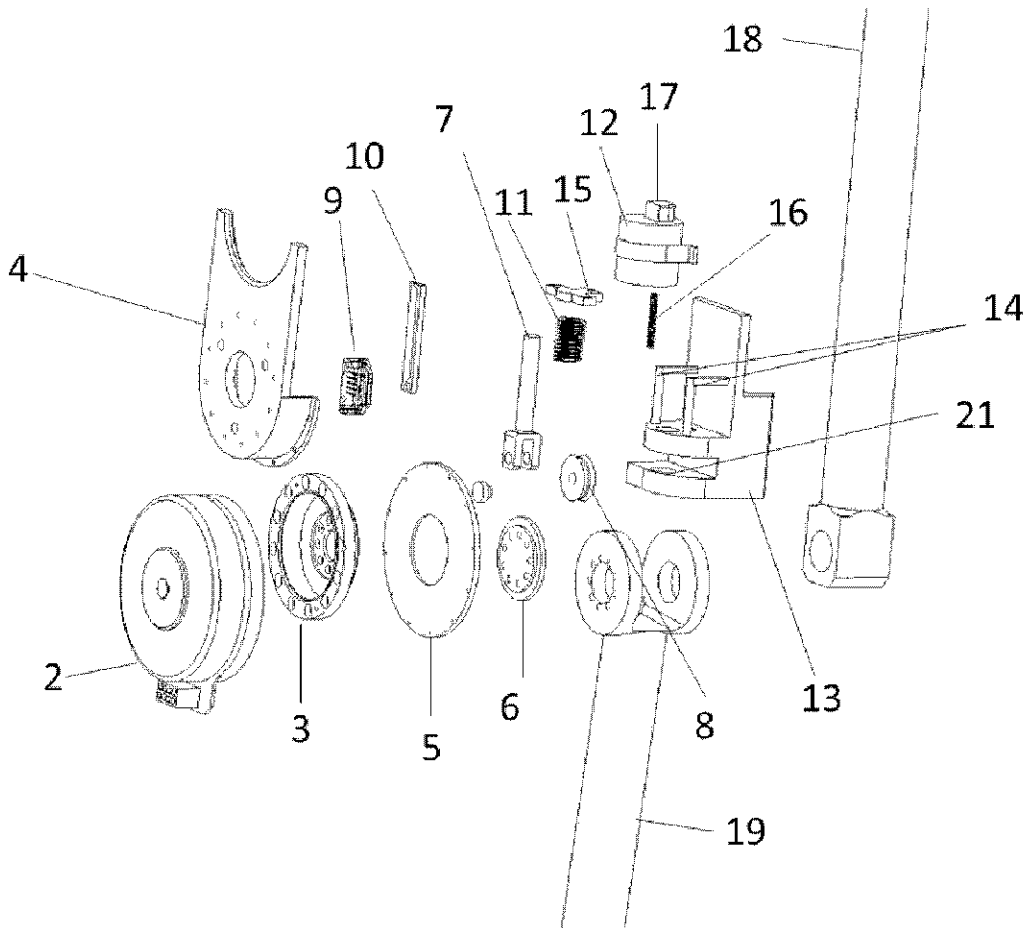


FIG. 3

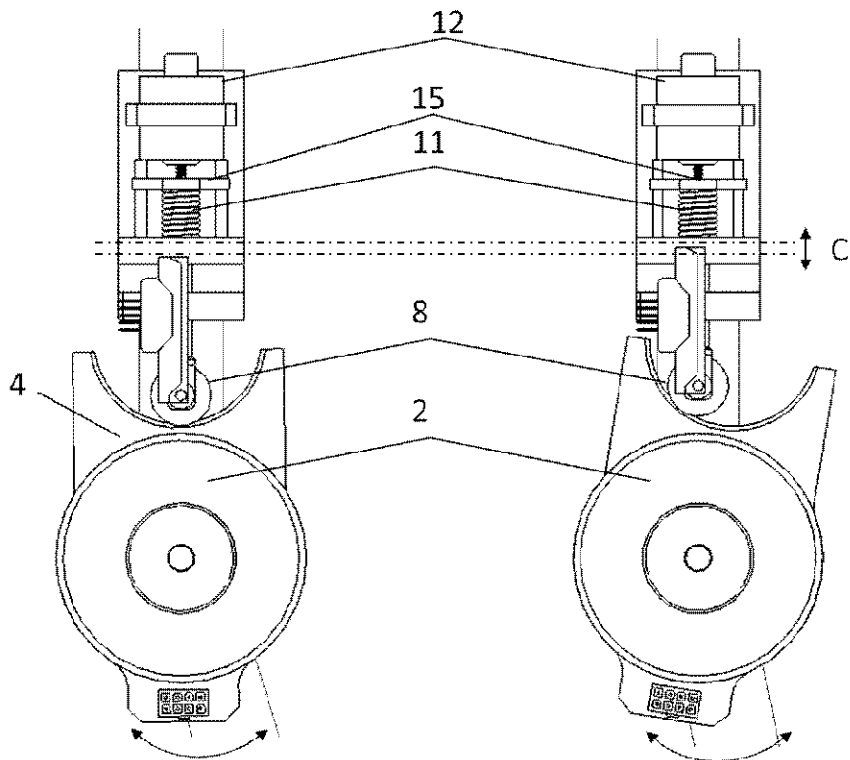


FIG. 4

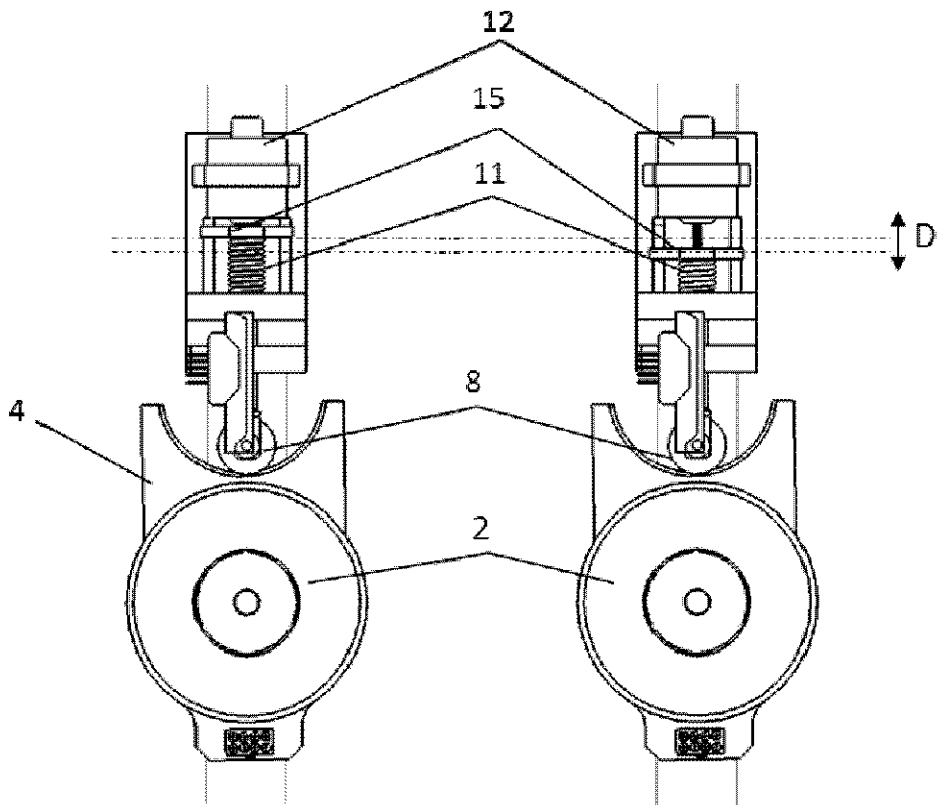


FIG. 5

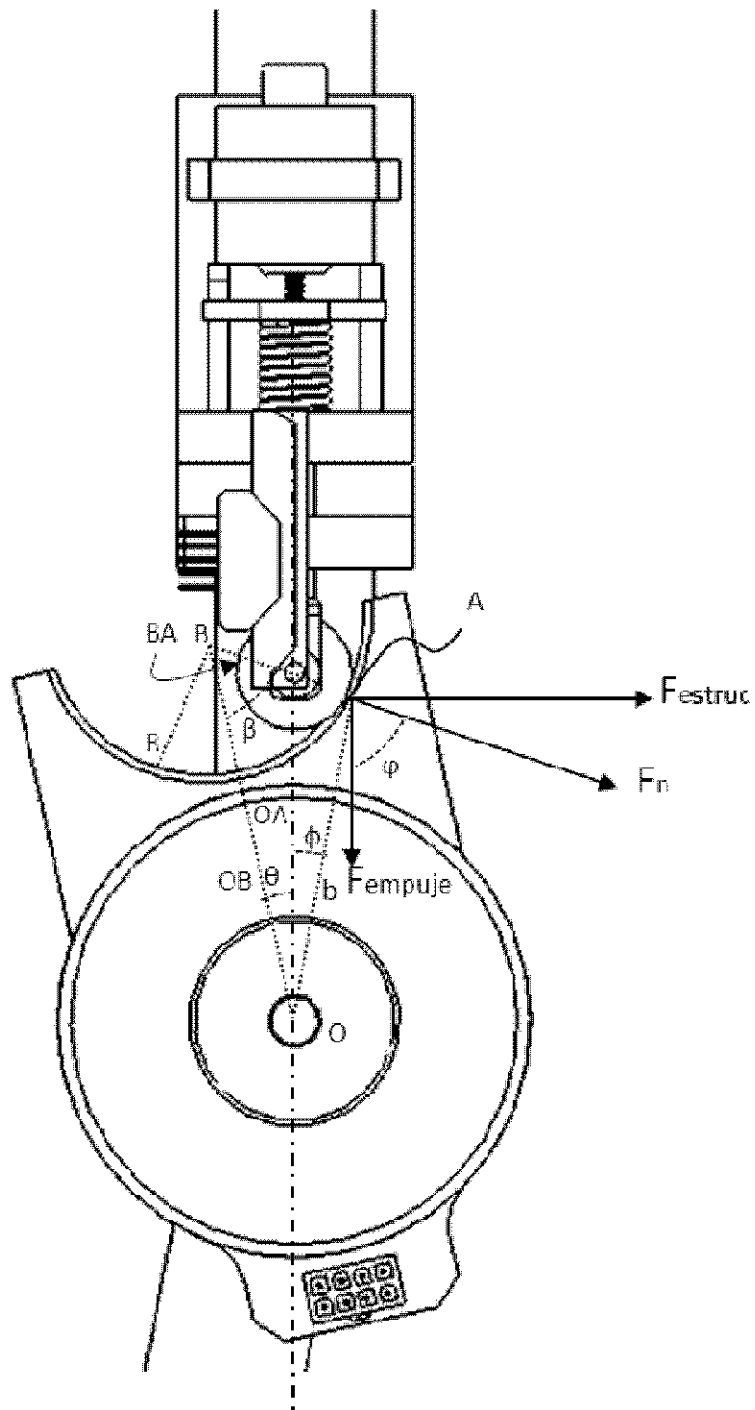


FIG. 6

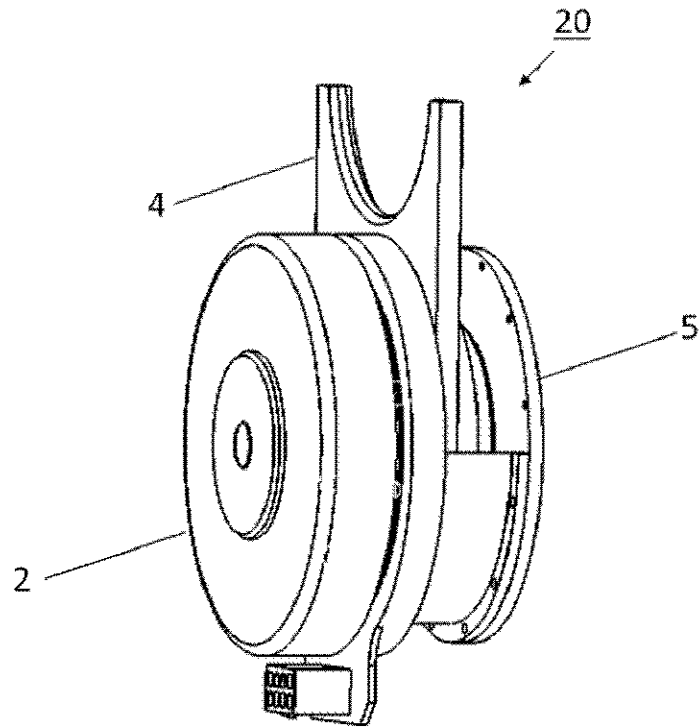


FIG. 7

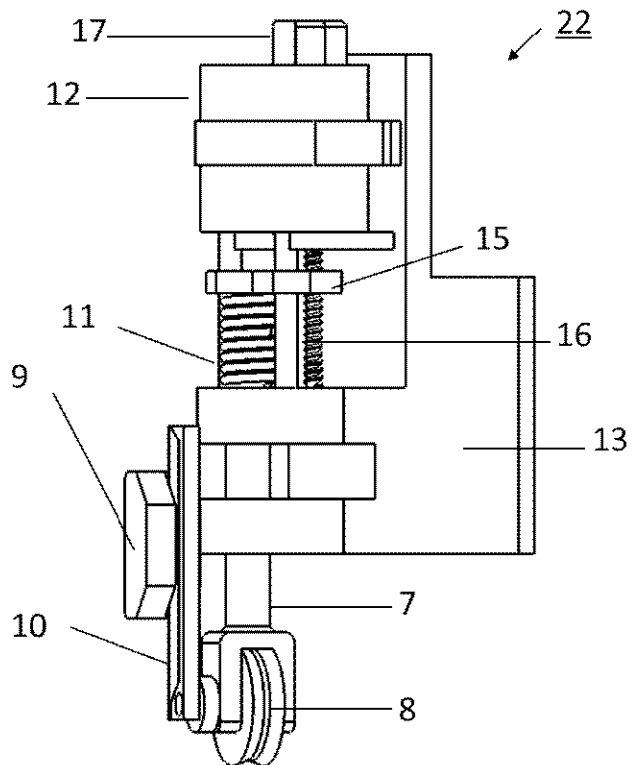


FIG. 8

