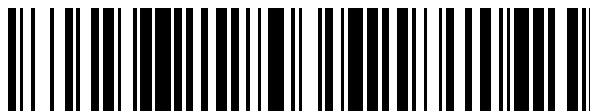


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 785 676**

21 Número de solicitud: 202030135

51 Int. Cl.:

**F16F 3/04** (2006.01)

**F16F 1/10** (2006.01)

**F16F 1/12** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

**18.02.2020**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**07.10.2020**

Fecha de concesión:

**12.02.2021**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**19.02.2021**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
(100.0%)**

**Avda. Ramiro de Maeztu nº 7  
28040 MADRID (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**MUÑOZ GUIJOSA, Juan Manuel;  
NAVARRO CABELLO, Enrique;  
CHACÓN TANARRO, Enrique y  
DÍAZ LANTADA, Andrés**

74 Agente/Representante:

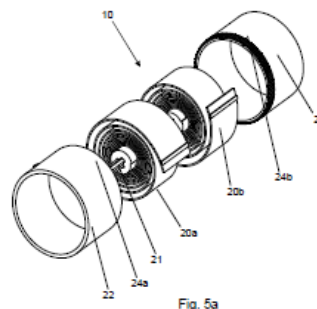
**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

54 Título: **DISPOSITIVO ELÁSTICO CON RIGIDEZ VARIABLE, ACTUADOR CON RIGIDEZ VARIABLE Y ACOPLAMIENTO CON RIGIDEZ VARIABLE**

57 Resumen:

Dispositivo elástico con rigidez variable, actuador con rigidez variable y acoplamiento con rigidez variable.

La invención se refiere a un dispositivo elástico (10) que comprende un primer resorte (20a) en espiral, unido a una carcasa (22) y a un árbol (21), y un segundo resorte (20b) en espiral, unido a una carcasa (22) y a un árbol (21), donde: el árbol (21) o, alternativamente, la carcasa (22), es común a ambos resortes (20a, 20b); la rigidez del resorte (20a) depende de la posición relativa entre el árbol (21) y la carcasa (22) al que está unido dicho resorte (20a); la rigidez del resorte (20b) depende de la posición relativa entre el árbol (21) y la carcasa (22) al que está unido dicho resorte (20b) y donde las espiras del resorte (20a) discurren en sentido contrario a las espiras del resorte (20b).



ES 2 785 676 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

**DESCRIPCIÓN****DISPOSITIVO ELÁSTICO CON RIGIDEZ VARIABLE, ACTUADOR CON RIGIDEZ VARIABLE Y ACOPLAMIENTO CON RIGIDEZ VARIABLE**

5

**Objeto de la invención**

La presente invención pertenece, entre otros, al campo técnico de las conexiones mecánicas y es de utilidad en numerosos sectores diferentes, tales como, por ejemplo y sin carácter limitativo, la robótica, los exoesqueletos, las suspensiones de vehículos, las máquinas de rehabilitación, las máquinas de musculación, así como en los sistemas estructurales.

Más en particular, la presente invención tiene por objeto un dispositivo elástico con rigidez variable. Dicho dispositivo elástico puede regularse a voluntad de forma que -al verse sometido a la acción de un par- la deflexión angular generada en dicho dispositivo como consecuencia de la acción de dicho par, sea de mayor o menor magnitud.

Asimismo, la invención se refiere igualmente a un actuador con rigidez variable que comprende, al menos, uno de los dispositivos elásticos con rigidez variable mencionados anteriormente.

Por último, la invención se refiere igualmente a un acoplamiento con rigidez variable que comprende, al menos, uno de los dispositivos elásticos con rigidez variable mencionados anteriormente.

25

**Problema técnico a resolver y antecedentes de la invención**

En términos mecánicos y estructurales, la rigidez de un elemento es la relación existente entre la fuerza que se aplica a dicho elemento y la deflexión que dicho elemento experimenta debido a la acción de dicha fuerza.

30

Así, por ejemplo, la rigidez a torsión  $K_T$  es la relación existente entre el par torsor  $dM$  aplicado a un elemento y la deflexión angular  $d\theta$  obtenida en éste:

$$K_T = \frac{dM}{d\theta}$$

35

La rigidez de un elemento está también relacionada con la capacidad que tiene éste de transmitir esfuerzos mecánicos, limitando su transmisión ante aumentos de la fuerza o el par mientras no se alcance una mayor deflexión en el elemento.

5

Muchos sistemas de ingeniería pueden ver mejoradas sus características si disponen de elementos con rigidez regulable.

Así, por ejemplo las rigideces de los elementos que constituyen un sistema estructural influyen en las frecuencias naturales de vibración o velocidades de giro críticas de dicho sistema. El diseño estructural tiene, entre otros objetivos, determinar las rigideces de los distintos elementos que configuran un sistema estructural para que sus frecuencias naturales o velocidades de giro críticas estén alejadas de las frecuencias a las que actúan las sollicitaciones sobre el sistema. La incorporación de elementos de rigidez variable a sistemas estructurales sería, por tanto, beneficiosa, ya que permitiría aumentar la versatilidad dichos sistemas estructurales al ser posible variar su rigidez, en función de las frecuencias a las que actúan las sollicitaciones.

15

Del mismo modo, el uso de articulaciones de rigidez regulable en robots haría que dicho robot, al igual que sucede con el ser humano, fuese capaz de mejorar las operaciones de posicionamiento y agarre, reduciendo el efecto que tienen sobre su estructura las perturbaciones en las sollicitaciones externas.

20

Por otro lado, una articulación de rigidez regulable en un robot que trabaja en entornos colaborativos, capaz de reducir su rigidez antes de que uno de los elementos que conecta impacte con un trabajador, permitiría reducir la severidad del impacto y por tanto sus consecuencias. En condiciones normales de operación, la articulación tendrá una rigidez mayor, de modo que sea posible la transmisión efectiva de esfuerzos y pares mecánicos entre los elementos que conecta, lo que permitiría que el robot desempeñe su labor de forma adecuada.

25

30

Otra aplicación que se beneficia de conexiones con rigidez regulable son los exoesqueletos robóticos. Diferentes estudios biomecánicos sobre la marcha humana han demostrado que

las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo permiten un giro diferente ante un mismo par en función de la posición de la pierna, la pantorrilla y el pie. Esta rigidez que varía en función de la posición de la articulación también permite regular la energía almacenada en los músculos responsables de la marcha, de modo que la energía sobrante en algunas fases es recuperada en otras. Lo mismo ocurre con las articulaciones de hombro, codo y muñeca o cuello. La ejecución de la marcha o de otros movimientos o secuencias de movimientos corporales por medio de exoesqueletos sería, consecuentemente, más realista, ergonómica y eficiente si se utilizan conexiones de rigidez variable entre los diferentes elementos del exoesqueleto.

5

10

Debido a la citada no linealidad de las articulaciones, en máquinas de entrenamiento, gimnasio o rehabilitación también es necesario el ajuste de la rigidez del sistema sobre el que el sujeto objeto del entrenamiento debe realizar un esfuerzo, por lo que la incorporación de elementos de rigidez variable, sería beneficiosa.

15

La posibilidad de variar la rigidez a voluntad, también es de utilidad en numerosas maquinas diferentes, por ejemplo, en máquinas provistas de varios árboles de transmisión conectados entre sí mediante acoplamientos. En condiciones nominales de trabajo, es necesaria una rigidez elevada en el acoplamiento, de modo que sea posible la transmisión eficiente de par entre los árboles que conecta, absorbiendo de forma simultánea desalineaciones radiales y angulares entre éstos. Sin embargo, en caso de una elevación brusca del par resistente, es beneficiosa una reducción substancial de la rigidez, de modo que se protejan de sobrecargas mecánicas los elementos conectados, gracias a una mayor deflexión angular en el acoplamiento. Esta limitación de esfuerzos es utilizable también en, por ejemplo, llaves dinamométricas, de forma que es posible ajustar el par de apriete obtenible con la llave.

20

25

Los vehículos, máquinas y estructuras también pueden beneficiarse de una suspensión con rigidez regulable. Por ejemplo, en vehículos automóviles y ferroviarios es necesaria una suspensión con rigidez elevada a altas velocidades, de modo que sea posible cumplir los requerimientos de estabilidad dinámica. Sin embargo, a bajas velocidades, -por ejemplo, en tramos con curvas de radio de curvatura pequeño, o con baches- interesa que la rigidez de la suspensión sea menor, de modo que pueda limitarse la transmisión de esfuerzos y aceleraciones al conductor o pasajeros, así como a la estructura suspendida. Características

30

similares se requieren en las barras de torsión de vehículos automóviles y ferrocarril. Del mismo modo, la regulación de la rigidez de la suspensión de una máquina puede reducir notablemente la transmisión de vibraciones hacia su soporte si la rigidez de dicha suspensión se modifica ante modificaciones de la frecuencia de las fuerzas generadas en la máquina. De forma similar, es posible aislar una estructura de excitaciones procedentes de su soporte modificando la rigidez de la suspensión que une la estructura con el soporte, de modo que las frecuencias naturales de la estructura queden lejos de las frecuencias de la excitación a través del soporte.

5

Actualmente se conocen diferentes métodos para obtener una rigidez variable. Por ejemplo, la solicitud de patente WO2014/001585 presenta un sistema basado en la precarga de un resorte rectilíneo. No obstante, la rigidez de la conexión es muy elevada hasta el valor de la precarga del resorte. Si la fuerza ejercida supera dicho valor, la rigidez de la conexión desciende hasta la del resorte.

10

15

Las solicitudes US2016082603 y TW201350095 presentan una conexión de rigidez variable a torsión, consiguiéndose la rigidez variable mediante la variación de la longitud libre de una viga sobre cuyo centro se aplica un par torsor.

20

La solicitud US2015123417 obtiene una junta con rigidez variable modificando la forma de una viga por medio del pandeo de ésta. La solicitud US9366323 obtiene una rigidez variable al modificar la longitud útil de un elemento elástico. Las solicitudes WO2013025510 y KR20160033340 obtienen una conexión de rigidez a torsión variable al modificar el brazo de la palanca sobre la que se actúan unos resortes. La solicitud EP1731336A1 presenta un elemento con rigidez a torsión variable por medio de la variación de la inercia a flexión de una viga, al modificar sus ejes de inercia respecto al plano de torsión. La solicitud WO2014033603A1 presenta un sistema de rigidez regulable mediante la precarga de dos sistemas elásticos no lineales, compuestos a su vez por resortes con comportamiento lineal.

25

30

Algunos de los dispositivos de rigidez variable ya conocidos, citados anteriormente, consiguen una rigidez torsional mediante la utilización de elementos elásticos rectilíneos. No obstante, en dichos dispositivos es necesario emplear medios para la conversión de un

movimiento lineal en un movimiento de giro. Dichos medios implican un aumento de peso, tamaño y coste.

5 Otros de los dispositivos de rigidez variable citados, consiguen una rigidez variable empleando elementos elásticos con rigidez constante, lo cual también implica la necesidad de medios para modificar la rigidez aparente de dichos resortes de rigidez constante, como cables, poleas, tensores, levas, palancas de brazo variable, etc., o una combinación de éstos. Esto también implica peso, tamaño y coste adicionales. El aumento de peso que conlleva la utilización de estos sistemas periféricos puede implicar también un empeoramiento de la respuesta dinámica del sistema y tiempo de reacción. El aumento de tamaño es especialmente problemático en sistemas como robots, exoesqueletos o automóviles. Por otra parte, el incremento en el número de componentes del sistema reduce su fiabilidad y eleva el coste de mantenimiento.

## 15 **Descripción de la invención**

La presente invención pretende subsanar o reducir los problemas y desventajas de la técnica anterior, mencionados anteriormente.

20 A tal fin, un primer objeto de la presente invención se refiere a un dispositivo elástico con rigidez variable, que comprende:

- Un primer resorte de torsión, con forma espiral, que define una pluralidad de espiras, estando dicho primer resorte unido por uno de sus extremos a una carcasa y estando unido por su extremo opuesto a un árbol de rotación, estando dicho árbol configurado de forma tal que puede rotar y variar su posición relativa con respecto a la carcasa para someter dicho primer resorte a una precarga;
- Un segundo resorte de torsión, con forma espiral, que define una pluralidad de espiras, estando dicho segundo resorte unido por uno de sus extremos a una carcasa y estando unido por su extremo opuesto a un árbol de rotación, estando dicho árbol configurado de forma tal que puede rotar y variar su posición relativa con respecto a la carcasa para someter dicho segundo resorte a una precarga;

caracterizado por que

- el primer resorte es no lineal, es decir, el primer resorte está configurado de forma que su rigidez a torsión puede variarse modificando la posición relativa entre el árbol de rotación y la carcasa a los que está unido dicho primer resorte;
- 5       - el segundo resorte no es lineal, es decir, el segundo resorte está configurado de forma que su rigidez a torsión puede variarse modificando la posición relativa entre el árbol de rotación y la carcasa a los que está unido dicho segundo resorte;
- 10       - el primer y el segundo resortes de torsión están acoplados entre sí en configuración antagonista, es decir, están unidos a un mismo árbol común o, alternativamente, están unidos a una misma carcasa común, estando dispuestos además, los resortes de modo que las espiras del primer resorte discurren en sentido contrario a las espiras del segundo resorte; y
- 15       - el dispositivo cuenta con medios de bloqueo configurados para retener el árbol (o árboles) y la carcasa (o carcasas) en sus posiciones relativas, una vez que el primer y el segundo resortes de torsión se han sometido a una precarga.

20       Gracias al uso de los resortes de torsión en espiral cuya respuesta no es lineal y a la configuración anteriormente descrita, el elemento según la presente invención es capaz de variar su rigidez -es decir, la magnitud del giro relativo entre árbol(es) y carcasa(s) para un mismo par de accionamiento- sin necesidad de emplear elementos auxiliares, lo que reduce su tamaño, peso, coste y complejidad, y aumenta su fiabilidad.

25       Asimismo, al imponer una precarga determinada a cada uno de los resortes de torsión en espiral, dada la configuración antagonista se alcanzará una posición de equilibrio en la que se compensan los pares de precarga de cada resorte y en la que, además, la rigidez de cada resorte es la correspondiente al punto de equilibrio en cada curva par-deflexión angular. De este modo, se consigue ajustar la rigidez a torsión del dispositivo según la presente invención

30       al valor deseado. Además, y contrariamente a lo que sucede en dispositivos provistos de un único resorte en espiral, el dispositivo según la presente invención puede operarse en ambos sentidos de giro y no es necesario que el par ejercido sobre los resortes supere un determinado valor mínimo (o umbral), para conseguir una deflexión angular en dicho dispositivo.

Para conseguir la rigidez a flexión variable a la que se hace mención en el párrafo anterior, el primer y/o segundo resorte deben tener una geometría tal que parte de su longitud se vaya enrollando alrededor del árbol de giro o alrededor de la carcasa según se actúa sobre el resorte (con lo cual la longitud útil va disminuyendo y, por tanto, la rigidez va aumentando), o bien una  
5 geometría tal que parte de la longitud esté inicialmente enrollada alrededor de la carcasa o alrededor del árbol de giro, y que vaya desenrollándose progresivamente a medida que se actúa sobre el resorte (con lo que la longitud útil aumenta y, por tanto, disminuye su rigidez).

Además, con objeto de conseguir un comportamiento no lineal más pronunciado, el primer  
10 resorte puede tener, opcionalmente, una rigidez a flexión que varía a lo largo de su longitud. Asimismo, el segundo resorte puede tener, opcionalmente, una rigidez a flexión que varía a lo largo de su longitud. Esto se consigue, por ejemplo, mediante una anchura que varía a lo largo de su longitud, un espesor que varía a lo largo de su longitud, una sección transversal que varía a lo largo de su longitud, una composición química que varía a lo largo de su longitud, o  
15 cualquier combinación de estas magnitudes (anchura, espesor, sección transversal y/o composición química) que varía a lo largo de su longitud.

Asimismo, el primer y/o segundo resortes pueden estar hechos a partir un material compuesto, o por medio de un proceso de fabricación aditiva, lo que también permite que, de ser deseado,  
20 dichos resortes tengan una rigidez variable a lo largo de su longitud.

En una posible realización de la invención, la configuración antagonista se obtiene uniendo el primer resorte y el segundo resorte a un mismo árbol de rotación común estando, además, el primer resorte unido a una primera carcasa y estando el segundo resorte unido a una  
25 segunda carcasa, (siendo la primera carcasa y la segunda carcassas diferentes entre sí).

En otra posible realización de la invención, alternativa a la descrita en el párrafo anterior, la configuración antagonista se consigue uniendo el primer resorte y el segundo resorte a una misma carcasa estando, además, el primer resorte unido a un primer árbol de rotación y  
30 estando el segundo resorte unido a un segundo árbol de rotación, distinto del primer árbol de rotación.



La presente invención contempla la posibilidad de que, tanto el primer resorte, como la carcasa y el árbol de rotación a los que está unido dicho primer resorte, sean piezas independientes entre sí.

5 Por otro lado, la presente invención contempla, además, expresamente todas las siguientes posibilidades:

- Que el primer resorte y la carcasa a la que está unido dicho primer resorte, estén hechos en una sola pieza;
- Que el primer resorte y el árbol de rotación al que está unido dicho primer resorte, 10 estén hechos en una sola pieza; y
- Que el primer resorte, la carcasa y el árbol de rotación a los que está unido dicho primer resorte, estén hechos en una sola pieza.

15 La invención también contempla todas las posibilidades mencionadas en los párrafos anteriores con relación al segundo resorte, a la carcasa y al árbol de rotación a los que está unido dicho segundo resorte.

20 El dispositivo elástico con rigidez variable, según cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente, puede estar hecho, opcionalmente, mediante un procedimiento de fabricación aditiva, tal como impresión tridimensional.

Un segundo objeto de la presente invención se refiere a un actuador con rigidez variable de utilidad, sin carácter limitativo, en robots, exoesqueletos, máquinas de musculación, máquinas de rehabilitación o suspensiones de vehículos y máquinas.

25 Dicho actuador con rigidez variable comprende al menos un dispositivo elástico con rigidez variable, según cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente, y dos medios de accionamiento, configurados para fijar a voluntad las posiciones relativas entre la carcasa (o alternativamente, las carcasas) y el árbol (o, alternativamente, los árboles). El actuador con 30 rigidez variable conecta dos miembros contiguos de una misma cadena cinemática, estando el

primer miembro conectado a la(s) carcasa(s) y el segundo miembro conectado al (los) árbol (es).

5 Preferiblemente, el actuador con rigidez variable está provisto de al menos un dispositivo elástico con dos resortes espirales no lineales idénticos, estando el primer resorte del dispositivo unido a una primera carcasa y el segundo resorte unido a una segunda carcasa, diferente a la primera, pero estando unidos ambos resortes al mismo árbol de giro. Los medios de accionamiento, que a su vez sirven también de medios de bloqueo, pueden comprender, sin carácter limitativo, motores eléctricos, actuadores lineales, actuadores 10 neumáticos, hidráulicos, etc. Con objeto de aumentar el par de accionamiento, los medios de accionamiento pueden disponer de medios de transmisión como, sin carácter limitativo, sinfín-corona, Harmonic Drive, etc.

15 Produciendo, mediante los medios de accionamiento, un giro igual y contrario entre las carcasas, se modifica la posición relativa de éstas con respecto al árbol común sin movimiento de éste y, por tanto, se consigue una modificación las precargas de los resortes y, consecuentemente, de la rigidez a torsión del dispositivo elástico. En cambio, produciendo, mediante los medios de accionamiento, el mismo giro relativo entre las carcasas y el eje, se consigue la transmisión del par entre los dos elementos de la cadena 20 cinemática que conecta el actuador.

En una posible realización de un actuador según la presente invención, el árbol de al menos un dispositivo elástico está unido a un elemento correspondiente de una cadena cinemática mediante un acoplamiento. Preferiblemente, dicho acoplamiento es un acoplamiento no 25 permanente, accionable a voluntad.

Un tercer aspecto de la presente invención se refiere a un acoplamiento con rigidez variable de utilidad, sin carácter limitativo, en máquinas de rehabilitación, máquinas de musculación, sistemas de suspensión de vehículos y máquinas, o acoplamientos entre árboles de 30 transmisión.

El acoplamiento con rigidez variable comprende al menos un dispositivo elástico con rigidez variable, según cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente, y un único medio de accionamiento configurado para fijar a voluntad las posiciones relativas entre la carcasa (o alternativamente, las carcasas) y el árbol (o, alternativamente, los árboles). El medio de accionamiento puede ser, por ejemplo y sin carácter limitativo, un motor eléctrico, o un actuador lineal, neumático, hidráulico, etc., que permite fijar a voluntad la posición relativa entre las carcasas (en caso de existir carcasas diferentes y árbol único) o entre los árboles (en caso de existir árboles diferentes y carcasa única). El acoplamiento también puede estar provisto de medios de bloqueo, como, sin carácter limitativo, ruedas libres reversibles.

10

Preferiblemente, el actuador con rigidez variable está provisto de al menos un dispositivo elástico, estando el primer resorte del dispositivo unido a una primera carcasa y el segundo resorte unido a una segunda carcasa, diferente a la primera, pero estando unidos ambos resortes al mismo árbol de giro. Fijando el medio de accionamiento a una de las carcasas, y permitiendo que dicho medio de accionamiento actúe sobre la otra carcasa, se modifica la posición relativa de éstas con respecto al árbol común sin movimiento de éste y, por tanto, se consigue una modificación las precargas de los resortes y, consecuentemente, de la rigidez a torsión del dispositivo elástico y del acoplamiento.

15

## 20 **Descripción de las figuras**

Para complementar la presente descripción y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características técnicas de la invención, de acuerdo con ejemplos preferentes de realizaciones prácticas de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

25

Fig. 1A.- Es una vista en perspectiva de un resorte espiral de torsión unido por su extremo interior a un árbol de rotación;

30

Fig. 1B.- Es una vista en perspectiva del resorte espiral de torsión de la Fig. 1A que está, además, unido a por su extremo exterior a una carcasa;

Figs. 2A y 2B.- Son vistas en planta que ilustran esquemáticamente el efecto de diferentes

precargas sobre el resorte espiral de la Fig. 1B;

Fig. 3A.- Es una vista en perspectiva que ilustra gráficamente cómo un par torsor  $M$  aplicado a un árbol de rotación produce en éste una deflexión angular  $\theta$ ;

5

Fig. 3B.- Es una grafica que muestra la relación existente entre el par torsor aplicado a un resorte en espiral no lineal similar a los representados en las Fig. 1A y 1B, en el que, para par creciente, en primer lugar existe una reducción de la longitud útil y posteriormente un aumento de ésta, y la deflexión angular que se produce en éste, así como la rigidez a torsión obtenida;

10

Fig. 4.- Muestra, en tres gráficas diferentes, cómo varía la rigidez un resorte en espiral como el de la Fig. 2A, para tres valores diferentes del par torsor aplicado a dicho resorte y de la deflexión angular que se produce en éste;

15

Fig. 5a.- Es una vista en despiece ordenado de una primera realización de un dispositivo elástico según la presente invención;

Fig. 5b.- Es una vista en despiece ordenado de una segunda realización de un dispositivo elástico según la presente invención;

20

Fig. 6.- Es una vista en perspectiva de un actuador de rigidez variable, según una primera realización de la presente invención, que comprende un dispositivo elástico de rigidez variable;

25

Fig. 7.- Es una vista en perspectiva de un actuador de rigidez variable, según una segunda realización de la presente invención;

Fig. 8.- Es una vista en perspectiva de un acoplamiento de rigidez variable, según una tercera realización de la presente invención; y

30

Fig. 9.- Es una vista en perspectiva de un actuador de rigidez variable, según una cuarta realización de la presente invención.

35

#### Referencias numéricas de las figuras

- (10) Dispositivo elástico de la invención;
- (20a) Primer resorte en espiral;
- (20b) Segundo resorte en espiral;
- (21) Árbol del primer y del segundo resortes;
- 5 (22) Carcasa del primer resorte y/o del segundo resorte;
- (24a) Tope del primer resorte;
- (24b) Tope del segundo resorte;
- (25) Longitud de resorte bloqueada en torno al árbol de rotación;
- (26) Longitud de resorte bloqueada alrededor de la carcasa;
- 10 (27a) Chaveta del primer resorte en espiral;
- (27b) Chaveta del segundo resorte en espiral;
- (28) Chavetero;
- (71) Elemento de sujeción;
- (72) Sinfín del motor de giro;
- 15 (73) Motor de giro;
- (74) Soporte fijo;
- (75) Sinfín del motor de variación de rigidez;
- (76) Motor de variación de rigidez;
- (79) Acoplamiento de miembro de articulación;
- 20 (80) Sistema de bloqueo;
- (100) Actuador de rigidez variable;
- (200) Acoplamiento de rigidez variable;
- (221, 222) Coronas dentadas de la carcasa;
- (M) Par torsor;
- 25 ( $\theta$ ) deflexión angular;

( $K_T$ ) Rigidez a torsión.

### Descripción de una forma de realización de la invención

5 Seguidamente se proporciona, con ayuda de las figuras 1A a 9 adjuntas, una descripción en detalle de un ejemplo de realización preferente de la presente invención.

A lo largo de la presente descripción, así como en las figuras adjuntas, los elementos con funciones iguales o similares se designarán con las mismas referencias numéricas.

10

La Fig. 1A muestra un resorte en espiral 20a unido por su extremo interior a un árbol 21 de rotación.

15

En la Fig. 1B. se muestra el resorte en espiral 20a de la Fig. 1a que está, además, unido a por su extremo exterior a una carcasa 22.

20

Las Figs. 2A y 2B muestran de forma esquemática el efecto de someter a un resorte en espiral, como el mostrado en la Fig. 1B, a un par torsor M. Así, como puede apreciarse en la parte inferior de la Fig. 2A, al aplicar un par torsor M algunas espiras 25 del resorte 20a, quedan bloqueadas en torno al árbol 21.

25

Este efecto se produce porque la curvatura de dichas espiras 25 debida al para aplicado es, en teoría, mayor que la máxima posible cuando están enrolladas alrededor del árbol 21. A consecuencia de ello, la longitud libre del resorte 20a disminuye, por lo que aumenta su rigidez.

30

Por otro lado y según se muestra en la parte superior de la Fig. 2B en este caso, al aplicar un par torsor M, algunas espiras 26 del resorte 20a, que inicialmente quedaban bloqueadas en torno a la carcasa 22, se desbloquean de ésta.

35

En la Fig. 3A se ilustra gráficamente cómo, al aplicar un par torsor M al árbol de rotación 21, se

produce una deflexión angular  $\theta$ .

En la Fig. 3B se muestra una curva que ilustra cómo varía la deflexión angular  $\theta$ , en función del par torsor  $M$  aplicado. La tangente ( $\text{tg } \alpha$ ) a la curva  $M$  frente a  $\theta$ , en un punto cualquiera de dicha curva, es –precisamente– el valor de la rigidez a torsión  $K_T$  correspondiente a dicho punto.

En la Fig. 4 se muestran varias curvas  $M$  frente a  $\theta$ , similares a la de la Fig. 3b. En cada una de ellas se muestra cuál es el valor específico de la rigidez ( $K_1$ ,  $K_2$ , y  $K_3$ ), correspondiente a una determinada deflexión angular ( $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$ ) cuando se aplica un par mínimo  $M_0$ .

En la Fig. 5a se muestra una primera realización de un dispositivo elástico 10 con rigidez variable, según la presente invención. En esta realización particular ilustrada en dicha figura, el primer resorte 20a en espiral y el segundo resorte 20b en espiral están unidos a un mismo árbol de rotación común 21. Además, el primer resorte 20a está unido a una primera carcasa 22 y el segundo resorte 20b está unido a una segunda carcasa 22, diferente de la anterior.

No obstante y según lo dicho anteriormente, la presente invención también contempla la posibilidad -aunque no se ilustra expresamente en las figuras- de que el primer resorte 20a y el segundo resorte 20b estén unidos a una misma carcasa 22 estando, además el primer resorte unido a un primer árbol de rotación 21a y estando el segundo resorte unido a un segundo árbol de rotación 21b diferente.

En la realización mostrada en la Fig. 5a, y según la vista que muestra la figura, las espiras del primer resorte 20a discurren, en esta realización particular de la invención y sin carácter limitativo, en sentido horario desde el árbol hacia la carcasa. Por el contrario, las espiras del segundo resorte 20b discurren en sentido anti-horario desde el árbol hacia la carcasa.

La restricción de los movimientos no deseados de los resortes y el árbol pueden obtenerse mediante elementos roscados y rodamientos o cojinetes de empuje.

Cada una de las carcasas 22 y 22 está provista de medios 24a, 24b para bloquear la posición relativa entre ellas.

5 En la Fig. 5b se muestra una variante de la primera realización del dispositivo elástico 10 de la Fig. 5a, en la que -además- el primer resorte 20a en espiral está provisto de una chaveta alargada 27a y el segundo resorte 20b en espiral está provisto de una chaveta alargada 27b. Dichas chavetas 27a y 27b están destinadas a insertarse en un chavetero 28 provisto en cada una de las carcasas 22. Si el chavetero tiene una anchura adecuada, se puede permitir la obtención de rigidez nula al permitir el giro libre, en un rango angular definido por la anchura del chavetero, entre el resorte y la carcasa. La rigidez nula puede también  
10 conseguirse si se proveen medios de desacoplamiento temporal entre los resortes y/o sus carcasas o ejes.

15 La Fig. 6 muestra un primer actuador 100 de rigidez variable, según la presente invención, que comprende un dispositivo elástico 10 de rigidez variable.

El actuador 100 de rigidez variable puede usarse, por ejemplo y sin carácter limitativo, en robots o exoesqueletos, en suspensiones de automóviles o máquinas, como barra de torsión de rigidez variable o para máquinas de musculación o máquinas de rehabilitación.

20 Dicho actuador 100 permite, dependiendo del caso concreto, la transmisión de un par de giro variable a un miembro de articulación, la modificación de la altura del vehículo o máquina, o la modificación de la rigidez del actuador o la suspensión.

25 El actuador 100 está provisto de un dispositivo elástico 10 de rigidez variable, como el mostrado en la Fig. 5 en el que -preferiblemente-, ambos resortes espirales tienen la misma curva par-deflexión angular.

30 La carcasa del dispositivo elástico 10 está unida al primer miembro 74 de la cadena cinemática que conecta, mediante dos elementos de sujeción 71. Dichos elementos de sujeción 71 comprenden un rodamiento, cojinete u otro medio similar, que permite el giro del



dispositivo elástico 10 e impide, simultáneamente, otros giros, así como su desplazamiento axial o radial.

5 En la realización mostrada, las carcasas del dispositivo elástico 10 disponen de coronas dentadas 221, 222. La corona dentada 221 es accionada mediante un sinfín 72 por un motor de giro 73, pudiendo existir entre el sinfín y el motor de giro un sistema de transmisión, por ejemplo, por engranajes, correas, o algún otro medio. El estator del motor de giro 73, al igual que los soportes 71, están unidos al primer miembro 74 de la cadena cinemática que conecta. Evidentemente, la conexión entre el dispositivo elástico 10 y el motor de giro 73  
10 puede realizarse por medio de otro tipo de configuraciones, como motorreductores Harmonic Drive, actuadores lineales, o sistemas hidráulicos o neumáticos.

15 La otra corona dentada 222 es accionada mediante un sinfín 75 por un motor de variación de rigidez 76. El estator del motor de variación de rigidez 76 está unido a la carcasa opuesta a la que dispone de la corona 222. Tanto el árbol como cada motor también disponen de un encoder, o un sistema equivalente que permita medir la posición angular de las carcasas de los dispositivos elásticos y el árbol interior común 21. El árbol 21 puede disponer, asimismo, de un sensor de par para la medición del par de accionamiento del sistema.

20 El árbol 21 cuenta, al menos en uno de sus extremos, con un acoplamiento 79 para la conexión del segundo miembro de la cadena cinemática que conecta –no mostrado en la figura- por uno o sus dos extremos.

25 En aquellas aplicaciones en las que el actuador 100 se utiliza en una articulación de robot, el primer miembro 74 de la cadena cinemática que conecta el actuador 100 es el primer miembro de la articulación y el árbol interior común 21 está conectado mediante un acoplamiento 79 al segundo miembro de la articulación. En aquellos casos en los que el actuador 100 se utiliza como una suspensión de rigidez variable, el árbol interior común 21 está conectado a la masa no suspendida del vehículo y el elemento 74 representa la masa  
30 suspendida. En aquellos casos en los que el actuador 100 se utiliza como barra de torsión de rigidez variable, el árbol interior común 21 está conectado a una rueda y el elemento 74 a la otra. Por último, en aquellos casos en los que el actuador 100 se utiliza en máquinas de musculación o rehabilitación, el árbol interior común 21 está conectado a través del

acoplamiento 79 y, eventualmente, otros elementos de transmisión –no representados en la figura- a la brida que acciona el usuario, y el elemento 74 representa un punto fijo de la máquina.

5 La presente invención también contempla que el acoplamiento del actuador 100 con el segundo miembro de la articulación pueda ser a través de un acoplamiento 79 no permanente, actuable a voluntad. En este caso, se disponen medios para desacoplar temporal y voluntariamente dicho acoplamiento, consiguiéndose rigidez nula mientras esté desactivado. Alternativamente, se puede conseguir también rigidez nula si se dispone de  
10 medios –no representados en la figura- para desacoplar temporal y voluntariamente cualquiera de los extremos de los resortes del dispositivo elástico 10 del árbol 21 o, alternativamente, de las carcassas 22, según corresponda.

Accionando el motor 73 de giro en la dirección deseada sin accionar el motor 76 se  
15 consigue, dependiendo de la aplicación específica de la que se trate, el giro relativo entre los miembros de la articulación o, alternativamente, la subida o bajada del chasis del vehículo respecto al suelo.

Accionando el motor de variación de rigidez 76 en la dirección adecuada, se consigue,  
20 dependiendo de la aplicación específica de la que se trate, modificar la posición relativa de una carcassa respecto de la otra y respecto del árbol interior común 21 y, por tanto, la precarga de los resortes, de modo que se modifica la rigidez del sistema. Nótese que para poder modificar la posición de las carcassas sin modificar la posición del árbol interior es necesario accionar de forma simultánea el motor de giro 73, dado que dicho motor actúa  
25 también como medio de bloqueo del giro del dispositivo elástico 10. Puede utilizarse, opcionalmente, un sistema de regulación automática que varíe la velocidad del motor de giro 73 en función de la velocidad del motor de regulación de rigidez 76, con objeto de minimizar el giro del árbol interior 21.

30 Evidentemente, la presente invención contempla que el accionamiento de las carcassas pueda realizarse mediante cualquier otro medio, además de por medio de motores y transmisión sinfín-corona.

La Figura 7 muestra un segundo modo de realización de un actuador 100 de rigidez variable según la invención. Dicha realización es similar a la realización mostrada en la Figura 6, con la diferencia de que ahora no existe motor 76 de variación de rigidez, sino dos motores 73 de giro, estando cada uno de ellos acoplado mediante un sinfín 72 al dentado correspondiente de cada carcasa. Los motores sirven también como medios de bloqueo de del giro del dispositivo elástico. El giro relativo del primer miembro de la articulación robótica respecto al segundo miembro, o bien la variación de altura del chasis del vehículo respecto al suelo se consigue accionando ambos motores 73 de forma simultánea, a la misma velocidad y en el mismo sentido de giro. La variación de rigidez se consigue mediante el accionamiento de cada motor 73 en sentido contrario. De la misma forma que en la realización mostrada en la Figura 6, es posible modificar la rigidez sin obtener movimiento del árbol interior común 21, mediante un sistema de regulación automática que regule la diferencia de velocidades de cada motor, medida por medio de los encoders o sistemas de medición de velocidad o posición correspondientes, de modo que se minimice la velocidad de giro del árbol interior, medida también con el encoder o sistema equivalente correspondiente.

La Figura 8 muestra un primer modo de realización de un acoplamiento elástico de rigidez variable 200 según la invención, de uso, por ejemplo y sin carácter limitativo, en suspensiones de vehículos y máquinas, barras de torsión, máquinas de musculación o rehabilitación, o acoplamientos entre árboles.

En la realización mostrada en la Figura 8 no existen motores de giro, existiendo únicamente un motor 76 de variación de rigidez montado en una de las carcasas del elemento elástico 10, que actúa mediante el sinfín 75 sobre sobre la otra carcasa a través de su corona dentada 222. El árbol 21 del dispositivo elástico está conectado, por uno o sus dos extremos, al brazo de suspensión (en las aplicaciones de suspensión), a una de las ruedas (en la aplicación de barra de torsión), a la brida que acciona el usuario (en las aplicaciones de máquinas de musculación y rehabilitación) o a uno de los árboles a acoplar (en la aplicación de acoplamiento entre árboles). Las carcasas 22a y 22b están conectadas, -a través de unos elementos de sujeción 71, que, además de los elementos necesarios para garantizar el giro del sistema elástico 10 alrededor de su eje axial impidiendo movimientos a lo largo o alrededor de cualquier otro eje, incluyen elementos de bloqueo 80 como ruedas

libres reversibles- a la masa no suspendida (en las aplicaciones de suspensión), a la otra  
rueda (en la aplicación de barra de torsión), a un punto fijo de la máquina (en las  
aplicaciones de máquinas de musculación y rehabilitación), o al otro árbol (en la aplicación  
de acoplamiento entre árboles). Al estar el motor 76 de variación de rigidez actuando sobre  
5 una de las carcasas y unido a la otra, por el principio de acción y reacción no habrá  
movimiento del árbol interior 21 al actuar sobre el motor 76 de variación de rigidez para  
modificar la posición relativa de las carcasas y, por tanto, la precarga de los resortes. Las  
ruedas libres se deberán configurar de tal forma que se permita el movimiento deseado de  
cada carcasa, pero se impida el movimiento en sentido contrario. Se pueden disponer  
10 elementos que equilibren la fuerza centrífuga producida por el motor de variación de rigidez  
y sus elementos periféricos.

Nótese que, en la aplicación de acoplamiento entre árboles, este tipo de acoplamiento  
puede absorber desalineaciones angulares y radiales en la posición de uno de los árboles  
15 respecto al otro, debido a la pequeña movilidad angular y radial que se puede conseguir, si  
se desea, entre las carcasas.

La Figura 9 muestra una realización de un acoplamiento elástico 200 de rigidez variable  
según la invención de uso, por ejemplo y sin carácter limitativo, en acoplamientos entre  
20 árboles o máquinas de musculación o rehabilitación. Esta realización particular del  
acoplamiento elástico 200 permite el ajuste de la rigidez de forma manual, o por medio de  
algún sistema de amplificación de esfuerzo como palanca, tornillo, polea o similar. Para  
poder modificar la posición relativa de las carcasas de los dispositivos elásticos 10, es  
necesario permitir cierta movilidad axial entre éstas. Las carcasas del dispositivo elástico 10  
25 se conectan a un primer árbol del acoplamiento o a un soporte fijo 74 a través de unos  
elementos de conexión 71, que incluyen medios de bloqueo 80 como ruedas libres  
reversibles, y el árbol 21 del sistema elástico 10 se conecta, mediante el acoplamiento 79, al  
segundo árbol del acoplamiento o a la brida de la máquina de musculación o rehabilitación  
que acciona el usuario. En el caso de acoplamiento entre árboles, incluso sin ajuste de  
30 rigidez del acoplamiento por medio de la variación de la precarga de los resortes a través del  
giro de las carcasas, la propia no linealidad de los resortes puede conseguir una reducción  
de la rigidez del acoplamiento a costa de un aumento de la deflexión torsional de éste,  
protegiendo a los elementos que conecta.

La presente invención no está limitada, en modo alguno, a las realizaciones aquí divulgadas. Para la persona experta en la técnica serán evidentes otras posibles realizaciones diferentes de esta invención, a la vista de la presente descripción. En consecuencia, el alcance de protección de la presente invención está definido, exclusivamente, por las reivindicaciones que siguen a continuación.

5

## REIVINDICACIONES

1. Dispositivo elástico (10) con rigidez variable, que comprende:

- 5
- Un primer resorte (20a) de torsión, con forma espiral, que define una pluralidad de espiras, estando dicho primer resorte (20a) unido por uno de sus extremos a una carcasa (22) y estando unido por su extremo opuesto a un árbol de rotación (21), estando dicho árbol (21) configurado de forma tal que puede rotar y variar su posición relativa con respecto a la carcasa (22) para someter a dicho primer resorte

10

(20a) a una precarga;

    - Un segundo resorte (20b) de torsión, con forma espiral, que define una pluralidad de espiras, estando dicho segundo resorte (20b) unido por uno de sus extremos a una carcasa (22) y estando unido por su extremo opuesto a un árbol de rotación (21), estando dicho árbol (21) configurado de forma tal que puede rotar y variar su

15

posición relativa con respecto a la carcasa (22) para someter a dicho segundo resorte (20b) a una precarga;

caracterizado por que

- el primer resorte (20a) está configurado de forma que su rigidez a torsión puede variarse modificando la posición relativa entre el árbol (21) de rotación y la carcasa
- 20
- (22) a los que está unido dicho primer resorte (20a);
- el segundo resorte (20b) está configurado de forma que su rigidez a torsión puede variarse modificando la posición relativa entre el árbol (21) de rotación y la carcasa (22) a los que está unido dicho segundo resorte (20b);
- el primer resorte (20a) y el segundo resorte (20b) de torsión están unidos a un mismo
- 25
- árbol común (21) o, alternativamente, están unidos a una misma carcasa común (22), estando dispuestos además, dichos resortes (20a, 20b) de modo que las espiras del primer resorte (20a) discurren en sentido contrario a las espiras del segundo resorte (20b); y
- están provistos medios de bloqueo (24a, 24b), configurados para retener el árbol o
- 30
- árboles (21) y la carcasa o carcargas (22) en sus posiciones relativas, una vez que el primer resorte (20a) y el segundo resorte (20b) torsión se han sometido a una precarga.

2. Dispositivo elástico (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer resorte (20a) tiene una rigidez que varía a lo largo de su longitud.

5 3. Dispositivo elástico (10) según cualquier de las reivindicaciones anteriores, en el que el segundo resorte (20b) tiene una rigidez que varía a lo largo de su longitud.

10 4. Dispositivo elástico (10) según cualquiera de las reivindicaciones 2 o 3, en el que la anchura; el espesor; la sección transversal, la composición química o cualquier combinación de estas magnitudes varía a lo largo de la longitud del primer resorte (20a), del segundo resorte (20b) o de ambos resortes (20a, 20b).

15 5. Dispositivo elástico (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer resorte (20a) y el segundo resorte (20b) están unidos a un mismo árbol común (21) estando, además, el primer resorte (20a) unido a una primera carcasa (22) y estando el segundo resorte (20b) unido a una segunda carcasa (22) diferente.

20 6. Dispositivo elástico (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las carcasas disponen de unos chaveteros que permiten, en las circunstancias adecuadas, obtener rigidez nula.

7. Dispositivo elástico (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que existen medios para desacoplar temporalmente los resortes de sus carcasas y/o de sus árboles de giro, permitiendo de este modo obtener rigidez nula.

25 8. Dispositivo elástico (10) con rigidez variable, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que está hecho mediante un procedimiento de fabricación aditiva.

9. Dispositivo elástico (10) con rigidez variable, según la reivindicación 6, caracterizado por que el procedimiento de fabricación aditiva es impresión tridimensional.

30

10. Actuador (100) de rigidez variable, caracterizado por que comprende al menos un dispositivo elástico (10) con rigidez variable, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 y dos medios de accionamiento (72, 73, 75, 76), estando los medios de accionamiento (72, 73, 75, 76) configurados para fijar a voluntad las posiciones del árbol o árboles (21) y la carcasa o carcadas (22).

5

11. Actuador (100) de rigidez variable según la reivindicación 8, en el que los medios de accionamiento comprenden motores eléctricos (73, 76), actuadores lineales, actuadores neumáticos, o actuadores hidráulicos.

10

12. Actuador (100) de rigidez variable según cualquiera de las reivindicaciones 8 y 9, en el que los medios de accionamiento disponen de medios de transmisión (72, 75).

13. Actuador (100) de rigidez variable según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en el que el árbol (21) de al menos un dispositivo elástico (10) está unido a un elemento de una cadena cinemática mediante un acoplamiento (79).

15

14. Actuador (100) de rigidez variable según la reivindicación 11, en el que el acoplamiento (79), es un acoplamiento no permanente y accionable a voluntad.

20

15. Acoplamiento (200) de rigidez variable, caracterizado por que comprende al menos un dispositivo elástico (10) con rigidez variable, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7; un único medio de accionamiento (72, 73, 75, 76), estando dicho medio de accionamiento configurado (72, 73, 75, 76) para fijar a voluntad las posiciones relativas del árbol o árboles (21) y la carcasa o carcadas (22); y unos medios de bloqueo (80) para evitar giros opuestos a los que se den en la dirección deseada.

25

16. Uso de al menos un actuador (100) de rigidez variable según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, en una suspensión de un vehículo o una máquina, una barra de torsión, un exoesqueleto, un robot, una llave dinamométrica, una máquina de musculación o una máquina de rehabilitación.

30



5 17. Uso de al menos un acoplamiento (200) de rigidez variable según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, en una suspensión de un vehículo o una máquina, una barra de torsión, un exoesqueleto, un robot, una llave dinamométrica, una máquina de musculación o una máquina de rehabilitación.

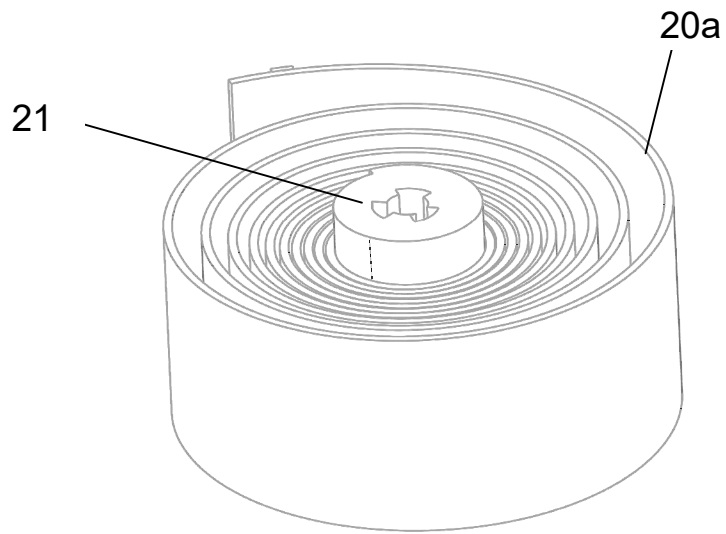


Fig. 1a

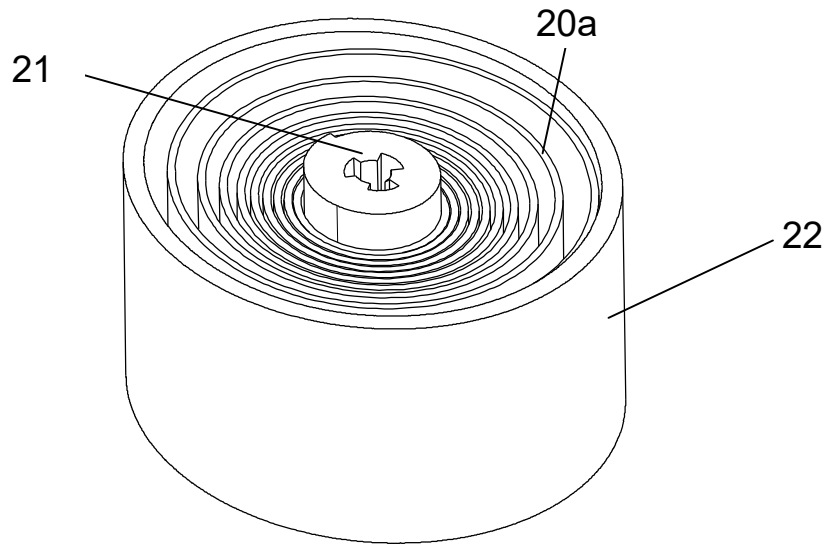


Fig. 1b

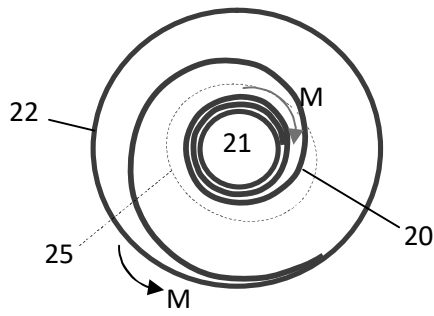
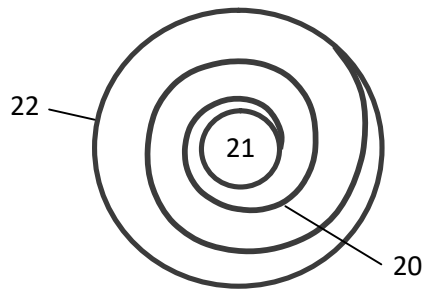


Fig. 2a

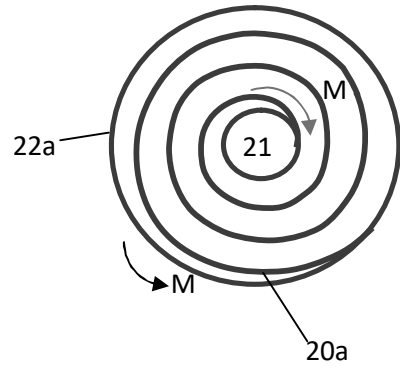
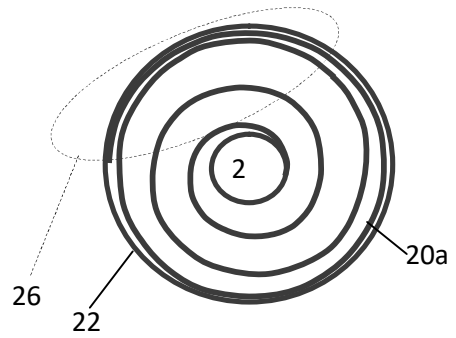


Fig. 2b

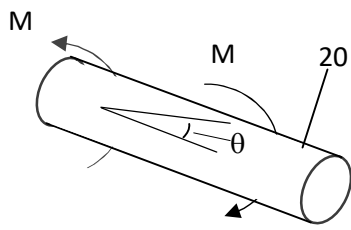


Fig. 3a

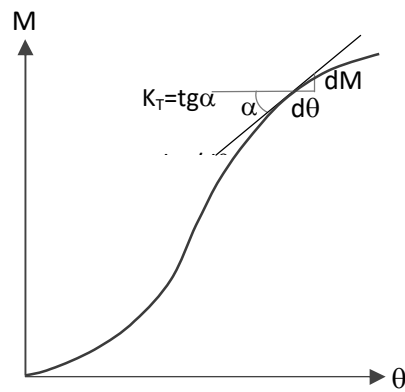


Fig. 3b

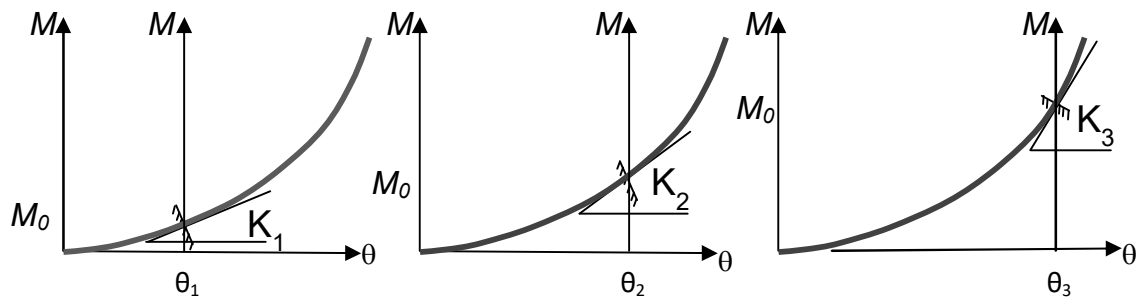


Fig. 4

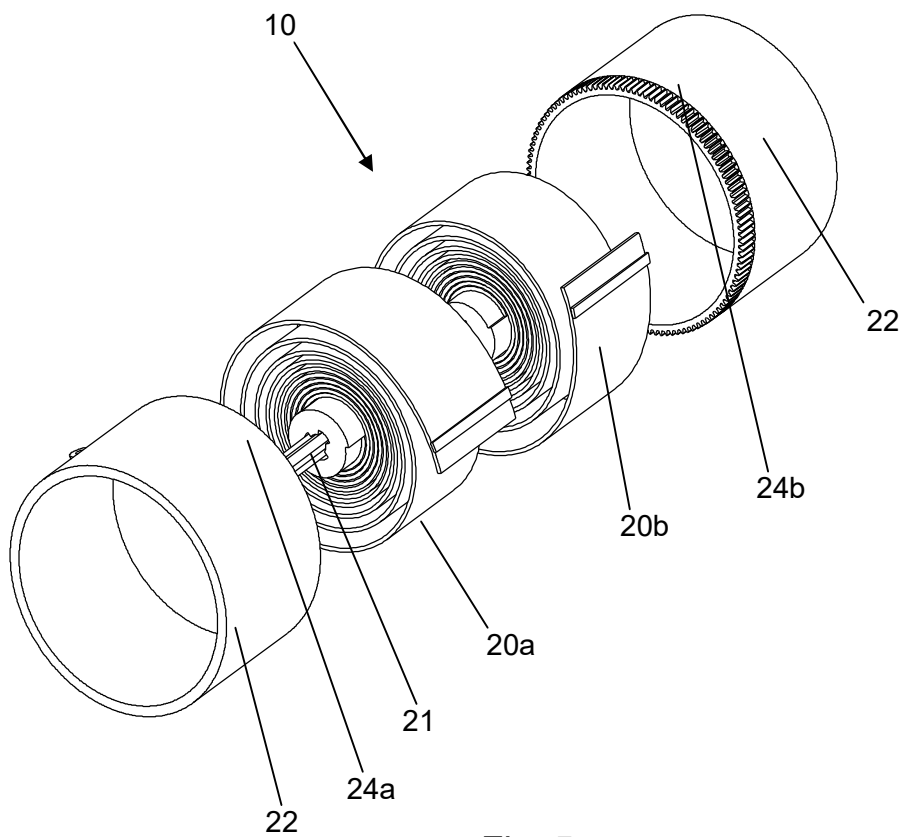


Fig. 5a

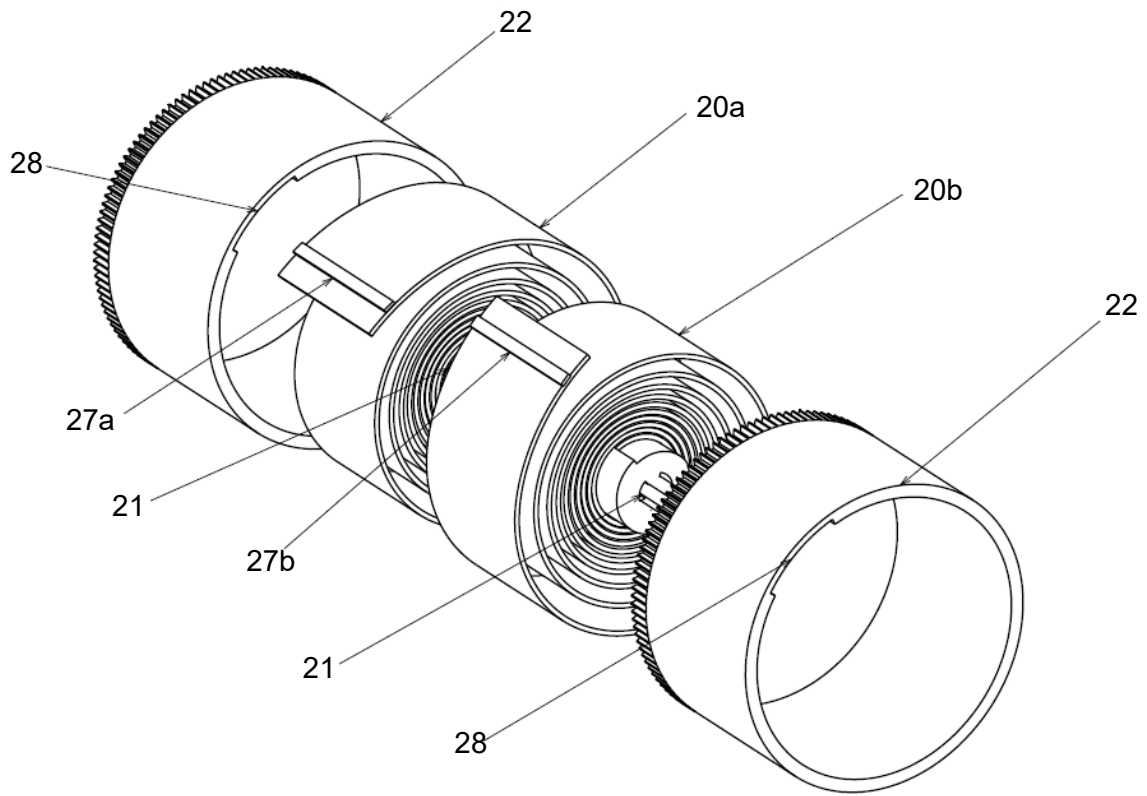


Fig. 5b

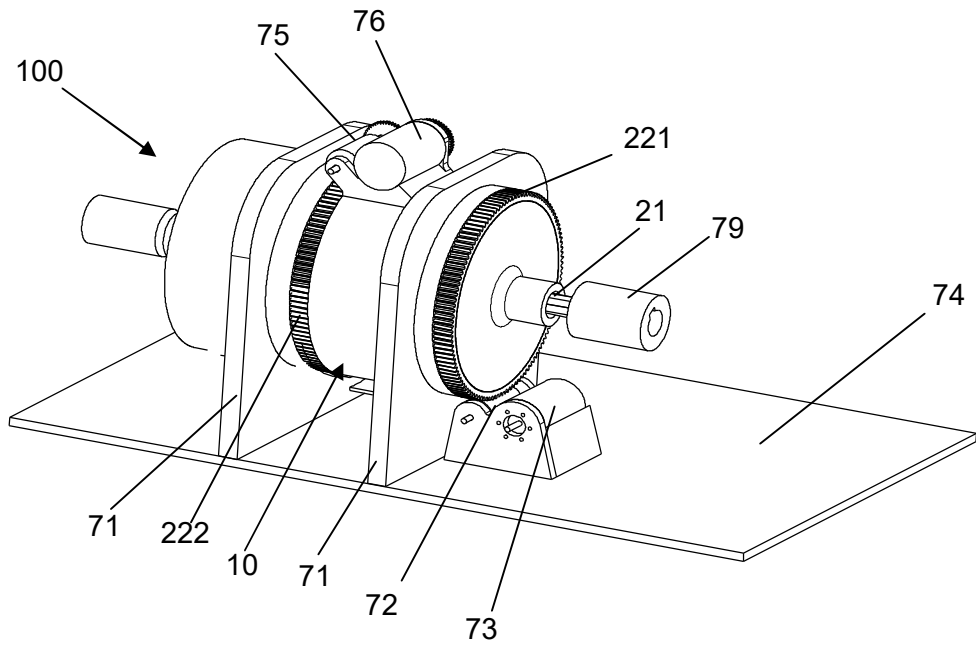


Fig. 6

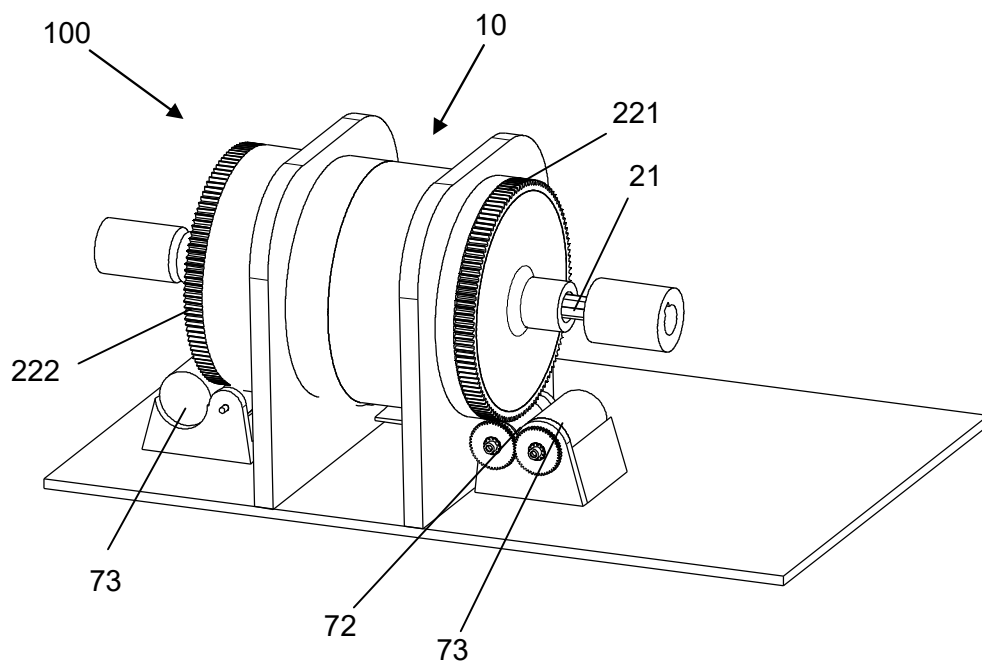


Fig. 7

