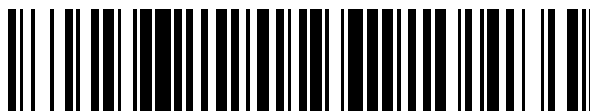


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 728 518**

51 Int. Cl.:

F16D 3/62 (2006.01)

B25J 9/00 (2006.01)

F16D 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.07.2016** **E 16180863 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2019** **EP 3121472**

54 Título: **Elementos de flexión planos y actuadores que los utilizan**

30 Prioridad:

23.07.2015 US 201514806807

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

25.10.2019

73 Titular/es:

RETHINK ROBOTICS GMBH (100.0%)
Liebshausener Straße 3
55494 Rheinböllen, DE

72 Inventor/es:

KNOLL, MATTHEW;
BOND, JONATHAN;
WHITE, ROBERT;
SCARFOGLIERO, UMBERTO y
WALLACE, ANDREW

74 Agente/Representante:

MILTENYI , Peter

ES 2 728 518 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

Elementos de flexión planos y actuadores que los utilizan.

5

CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere a elementos de flexión elásticos y actuadores que utilizan estos elementos para su uso, por ejemplo, en aplicaciones robóticas.

10

ANTECEDENTES

Los robots industriales realizan una variedad de tareas que implican el movimiento y la manipulación de diversos objetos. Un robot industrial típico tal como se utiliza, por ejemplo, en un entorno de fabricación, puede tener uno o más brazos equipados con pinzas que permiten al robot recoger, transportar, y manipular objetos. Un requisito mecánico clave para la industria es la capacidad de generar fuerzas y pares grandes pero precisos, y, a la vez, mantener una estabilidad de control general. Estos pares y fuerzas son generados por actuadores, es decir, motores que responden a señales de control para aplicar un par comandado, el cual se transmite mecánicamente a una carga directamente (cuando se requiere un accionamiento giratorio) o bien mediante un elemento de conversión lineal, tal como un tornillo de avance (cuando se requiere una fuerza lineal).

15

20

Los actuadores rígidos pueden ejercer grandes fuerzas a partir de pequeños desplazamientos de articulaciones, y permiten un control de fuerza de gran ancho de banda y un control de posición preciso. Pero la rigidez dificulta el control de la fuerza. Debido a la importancia del control de la fuerza en las aplicaciones robóticas, la rigidez y el ancho de banda asociado suelen sacrificarse para lograr un mejor control de la fuerza. Una propuesta es utilizar un elemento elástico en serie con el actuador. La elasticidad tiene el efecto de facilitar el control de la fuerza, ya que se necesitan mayores deformaciones para ejercer una fuerza determinada respecto a un robot actuador rígido. En efecto, la elasticidad permite controlar la fuerza a través de la posición en lugar de hacerlo directamente, lo que mejora la precisión y la estabilidad, y reduce el ruido.

25

30

El diseño de elementos elásticos en serie para aplicaciones robóticas puede ser un reto debido a limitaciones de espacio, la necesidad de soportar grandes y repetidos pares aplicados sin deslizamiento o desviación, y la necesidad de una fabricación repetible pero económica. En un elemento elástico giratorio, por ejemplo, el diseño debe incorporar componentes con una longitud suficiente para proporcionar la elasticidad deseada (ya que la rigidez varía inversamente con el cubo de la longitud de un componente), pero también debe proporcionar una estructura de montaje seguro para evitar el deslizamiento. Debido a que la estructura típicamente define la envoltura exterior del elemento elástico, esto impone un límite en la magnitud de la longitud interna que puede emplearse. El documento US 8.176.809 describe dicho elemento de flexión, el cual presenta un par de brazos de flexión que se extienden desde una parte de acoplamiento central hasta una estructura de montaje exterior.

35

40

SUMARIO

De acuerdo con la presente invención, se dispone un elemento de flexión plano tal como se establece en la reivindicación 1 y un actuador giratorio tal como se establece en la reivindicación 9. La presente invención presenta, en diversas realizaciones, un elemento de flexión plano para resistir rotación alrededor de un eje central del mismo, el cual permite una mayor conformidad que los diseños convencionales. En diversas realizaciones, el elemento de flexión comprende una parte central que comprende una pluralidad de puntos de fijación; y por lo menos dos brazos de flexión en serpentín que se extienden opuestos y simétricos desde la parte central en un plano, terminando cada uno de los brazos en un carril de montaje arqueado, comprendiendo cada uno de los carriles de montaje una pluralidad de puntos de fijación y estando posicionados opuestos entre sí para definir y ocupar parcialmente una envoltura circular plana desplazada radialmente desde la parte central, pero rodeándola, extendiéndose una parte de los brazos en serpentín sustancialmente hacia la envoltura entre los carriles de montaje.

45

50

En algunas realizaciones, los brazos en serpentín tienen un grosor variable con una parte más delgada de los mismos en la envoltura. Los brazos y la parte central pueden tener una altura unitaria por lo menos igual a la anchura de los brazos en una parte más estrecha de los mismos. Por ejemplo, la relación entre altura y anchura puede ser de por lo menos 2. En otras realizaciones, los brazos y la parte central tienen una altura no unitaria.

55

El elemento de flexión puede estar realizado en titanio u otro metal adecuado (u otro material). En algunas implementaciones, los brazos (o parte de los mismos) presentan una sección transversal de viga en I. Alternativamente o adicionalmente, los brazos pueden incluir huecos a lo largo de un eje de flexión neutro de los mismos.

60

En otro aspecto, la invención se refiere a un elemento de flexión plano para resistir rotación alrededor de un eje central del mismo. En diversas realizaciones, el elemento de flexión incluye una parte central que comprende una pluralidad de puntos de fijación; y por lo menos un brazo de flexión en serpentín que se extiende desde la parte central en un plano y que termina en un carril de montaje arqueado que tiene una pluralidad de puntos de fijación.

5 Todavía en otro aspecto, la invención se refiere a un actuador giratorio. En varias realizaciones, el actuador comprende un motor configurado para girar alrededor de un eje de accionamiento; y un elemento de flexión plano que tiene una parte de salida central acoplada mecánicamente a una carga y por lo menos dos brazos de flexión en serpentín que se extienden opuestos y simétricos desde la parte central en un plano, cada uno de los cuales termina en un carril de montaje arqueado que tiene una pluralidad de puntos de fijación para el montaje en el motor, estando posicionados los carriles de montaje opuestos entre sí para definir y ocupar parcialmente una envoltura circular plana desplazada radialmente desde la parte central pero rodeando la misma, extendiéndose una parte de los brazos en serpentín sustancialmente hacia la envoltura entre los carriles de montaje.

15 En algunas realizaciones, los brazos en serpentín tienen un grosor variable con una parte más delgada de los mismos en la envoltura. Los brazos y la parte central pueden tener una altura unitaria por lo menos igual a la anchura de los brazos en una parte más estrecha de los mismos. Por ejemplo, la relación entre altura y anchura puede ser de por lo menos 2. En otras realizaciones, los brazos y la parte central tienen una altura no unitaria. El elemento de flexión puede estar realizado en titanio u otro metal adecuado (u otro material). En algunas implementaciones, los brazos (o parte de los mismos) presentan una sección transversal de viga en I. Alternativamente o adicionalmente, los brazos pueden incluir huecos a lo largo de un eje de flexión neutro de los mismos.

25 En algunas realizaciones, el actuador tiene un eje de accionamiento coaxial con un eje de salida. En otras realizaciones, el actuador tiene un eje de accionamiento paralelo y desplazado respecto a un eje de salida, u oblicuo respecto a un eje de salida.

30 El término "sustancialmente" o "aproximadamente" significa $\pm 10\%$ (por ejemplo, en peso o en volumen) y, en algunas realizaciones, $\pm 5\%$. El término "consiste esencialmente en" significa que se excluyen otros materiales que contribuyen a la función, salvo que se defina lo contrario aquí. No obstante, dichos otros materiales pueden estar presentes, colectivamente o individualmente, en pequeñas cantidades. La referencia a lo largo de esta memoria a "un ejemplo", o "una realización" significa que un aspecto, estructura, o característica particular descrita en relación con el ejemplo se incluye en por lo menos un ejemplo de la presente tecnología. Por lo tanto, la aparición de las frases "en un ejemplo", o "una realización" en varios lugares a lo largo de esta memoria no se refieren necesariamente todos al mismo ejemplo. Además, las características, estructuras, rutinas, etapas, o aspectos particulares pueden combinarse de cualquier manera apropiada en uno o más ejemplos de la tecnología. Los encabezados que se dan aquí son sólo por conveniencia y no pretenden limitar ni interpretar el alcance o el significado de la tecnología reivindicada.

40 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Lo anterior se entenderá más fácilmente a partir de la siguiente descripción detallada de la invención, en particular, si se toma junto con los dibujos, en los cuales:

45 La figura 1 ilustra esquemáticamente un sistema actuador representativo que emplea una realización de la invención. Las figuras 2A y 2B ilustran, respectivamente, vistas en perspectiva y en alzado de un elemento de flexión plano de acuerdo con realizaciones de la presente invención. Las figuras 3A y 3B son vistas en planta y en sección, respectivamente, de una utilización representativa del elemento de flexión mostrado en las figuras 2A y 2B. Algunos componentes se omiten para mayor claridad en la figura 3A.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

55 La figura 1 ilustra los componentes básicos de un sistema actuador 100 que incorpora un elemento de flexión de acuerdo con el mismo. El sistema 100 incluye un dispositivo generador de par, es decir, un motor 110, que opcionalmente puede engranar a través de una caja de engranajes 112 (lo cual reduce el peso del sistema facilitando el uso de un motor más pequeño 110 que funciona a mayores velocidades). La caja de engranajes 112 puede estar integrada con el motor 110 o estar separada del mismo. Un elemento de muelle de torsión 114 está conectado en serie a la salida de la caja de engranajes 112 o, si no se emplea caja de engranajes, directamente al motor 110. La carga 116 sobre la cual actúa el sistema actuador 100 está conectada en serie al otro extremo del elemento de muelle 114. El elemento de muelle 114 introduce, de este modo, en la superficie de contacto entre el actuador 100 y la carga 116, una elasticidad en serie que permite un control preciso de la fuerza aplicada a la carga.

El elemento de muelle 114 puede conectarse a la carga 116 a través de un elemento de transmisión de poca holgura (no mostrado) si se desea.

En un entorno de robots, la distancia axial entre el sistema de actuador 100 y la carga 116 puede estar fuertemente restringida, limitando el grosor del elemento de muelle 114. La extensión radial del sistema actuador también puede estar altamente restringida, limitando el diámetro de la envoltura del elemento de muelle. Por lo tanto, es esencial empaquetar el grado de rigidez deseado en una pequeña región espacial, mientras que, al mismo tiempo, se permita un montaje suficientemente seguro del elemento de muelle 114 en la caja de engranajes 112 y la carga 116 (u otra salida mecánica) para evitar deslizamiento y desviación.

En las figuras 2A y 2B se muestra un elemento elástico representativo que cumple estas restricciones contradictorias. El elemento de flexión 200 es una estructura plana que presenta unas superficies opuestas sustancialmente planas, de la cual, la visible se ha indicado con 205. Una parte central 215 incluye una pluralidad de puntos de fijación 217, es decir, unos orificios de montaje dispuestos en una configuración sustancialmente circular y típicamente separados de manera equidistante. Los puntos de fijación 217 alojan tornillos u otros elementos de sujeción que sujetan el elemento de flexión 200 al motor del actuador o la caja de engranajes tal como se ha descrito anteriormente.

Un par de brazos de flexión en serpentin 220a, 220b salen de la parte central 215, los cuales se extienden opuestos y simétricos desde la parte central 215 en un plano. Aunque se muestran dos brazos 220, debe entenderse que quedan dentro del alcance de la invención configuraciones que utilizan un solo brazo 220, así como más de dos brazos 220. En la realización ilustrada, cada uno de los brazos 220a, 220b termina en un carril de montaje arqueado 225a, 225b. Cada uno de los carriles de montaje 225 incluye una pluralidad de puntos de fijación 217 (orificios de montaje, de nuevo, en la realización ilustrada) que facilitan la unión del elemento de flexión 200 a la carga o al elemento de accionamiento. Tal como se aprecia mejor en la figura 3, la cual se describe con mayor detalle a continuación, los carriles de montaje 225 quedan posicionados opuestos para definir, junto con los segmentos exteriores curvados de los brazos de flexión 220, una envoltura exterior sustancialmente circular para estabilidad y simetría de transmisión de la fuerza giratoria. Debido a que los carriles de montaje 225 ocupan sólo una parte de la envoltura circular, los brazos de flexión pueden extenderse hacia afuera de manera que los bordes exteriores curvados se encuentren o se aproximen a la envoltura. De esta manera, las longitudes de los brazos de flexión 220 pueden maximizarse dentro de un área circular limitada, es decir, sus longitudes no están limitadas para encajar dentro de un casquillo de montaje completamente circular.

Con referencia a la figura 2B, el elemento de flexión 200 tiene una altura h que depende, en diversas realizaciones, del tamaño del actuador. Además, aunque el elemento de flexión 200 es plano, la altura h puede variar, es decir, diferentes regiones del elemento de flexión 200 pueden tener diferentes grosores. Una gama de alturas representativa es de 2,5 a 9 mm. Si la altura varía, una configuración típica tiene la parte más delgada de los brazos 220 (menor h) en los bordes exteriores de los mismos. Si los brazos 220, la parte central 215 y los carriles 225 tienen una altura unitaria, esa altura puede ser por lo menos igual a la anchura de los brazos en una parte más estrecha de los mismos, indicada representativamente por 230; en una implementación ilustrativa, la relación entre la altura y la anchura es 2:1.

Los brazos 220 proporcionan la elasticidad del elemento de flexión 200. Es decir, a medida que gira la parte central 215, la fuerza giratoria se transmite a los brazos 220. El exterior del elemento de flexión 200 está acoplado a la caja de engranajes 112 (véase la figura 1). Los brazos 220 se deforman elásticamente hasta cierto punto dependiendo del par aplicado a la parte central 215 y la fuerza de reacción de la carga. La elasticidad del elemento de flexión 200 depende del módulo del material a partir del cual está fabricado el elemento de flexión, así como de las longitudes y grosores de los brazos 220. En particular, cada uno de los brazos 220 puede modelarse aproximadamente como una viga en voladizo con una rigidez k dada por

$$k = \frac{Ebh^3}{4L^3}$$

donde E es el módulo de Young del elemento de flexión 200, b es la anchura de la sección transversal (dimensión radial) del brazo mostrado en la figura 2B, h es la altura (eje z) del brazo, y L es la longitud del brazo (desde la parte central 215 hasta el carril de montaje 225).

Debido a esta relación, el grosor del brazo h en el eje z puede intercambiarse por la anchura del brazo en el plano xy del elemento de flexión 200. Si el grosor está limitado por limitaciones de espacio o maquinabilidad, en otras palabras, puede compensarse una reducción de grosor determinada por un aumento cúbico de la anchura del brazo para mantener la misma rigidez. Aunque la relación cúbica implica un gran aumento del área de la superficie de proyección del brazo para lograr una reducción del grosor, de hecho, la configuración en serpentin da cabida fácilmente a este aumento, que deja un espacio abierto sustancial dentro de la envoltura del elemento de flexión

200, espacio que se ve incrementado todavía más por los carriles de montaje de circunferencia limitada 225, que permiten que los bordes exteriores de los brazos 220 queden separados al máximo de la parte central 215. También pueden emplearse otras estrategias de reducción de peso. Por ejemplo, los brazos pueden configurarse con una sección transversal de viga en I para reducir la cantidad de material necesario para lograr una rigidez determinada, o puede eliminarse material a lo largo del eje de flexión neutro (por ejemplo, pueden formarse huecos u orificios a lo largo del eje neutro).

De hecho, brazos más anchos pueden ayudar a la fabricabilidad, puesto que una configuración estrecha puede ser difícil de fabricar. Propuestas típicas utilizadas en la fabricación de elementos de flexión planos incluyen estampado, corte por chorro de agua, corte por láser, y mecanizado. Las piezas estampadas pueden presentar una calidad del borde inferior y, por lo tanto, limitaciones de durabilidad, y puede ser difícil retener formas de características complejas después del tratamiento térmico; por lo tanto, segmentos del brazo curvados y delgados pueden ser incompatibles con el estampado como opción de fabricación. El corte por chorro de agua/corte por láser generalmente tiene un control dimensional de límite inferior de aproximadamente 0,005" para materiales adecuados para elementos de flexión tal como se contempla aquí, y para elementos de flexión diseñados para pares de funcionamiento pequeños, esta variación se traduce en variaciones de rigidez muy grandes, ya que la rigidez varía con el cubo del error dimensional. Además, el coste del corte por chorro de agua/por láser es bastante elevado en comparación con procesos tales como extrusión y corte, y no se aumenta fácilmente la producción en volumen. Si se desea, puede emplearse una técnica de acabado para ajustar las propiedades mecánicas finales del elemento de flexión 200. Por ejemplo, el granallado (por ejemplo, el granallado de compresión) se utiliza con frecuencia para introducir tensiones de compresión residuales en la superficie y, por lo tanto, aumentar la durabilidad de piezas metálicas.

En general, un proceso de extrusión seguido de corte para formar elementos de flexión planos es rentable y se adapta bien a realizaciones de la presente invención. Un material preferido para el elemento de flexión 200 es titanio, particularmente si el elemento de flexión se fija a una carga de aluminio y/o rotor. El coeficiente de rozamiento entre el aluminio y el titanio es mayor que entre el acero y el aluminio, lo que reduce la posibilidad de que la unión atornillada deslice. Aunque un elemento de flexión de titanio requiere más material, la compensación de volumen no supera la reducción de densidad que ofrece el titanio, y el resultado neto es un elemento de flexión más ligero. El titanio tiene un límite de resistencia natural de la misma manera que el acero (aunque distinto de muchos otros materiales) y, por lo tanto, es muy adecuado para aplicaciones elásticas. El titanio tiene un 60% de la rigidez del acero, lo que significa que los brazos de flexión deben ser un poco más gruesos respecto al acero, lo que reduce su sensibilidad a la variación de tolerancia. Cabe señalar que, de acuerdo con ello, puede apilarse más de un elemento de flexión en varias configuraciones para lograr una carga equilibrada y la desviación de par requerida.

Las figuras 3A y 3B muestran el elemento de flexión 200 acoplado a una carga en un entorno mecánico representativo. La propia carga (no mostrada, pero que puede ser, por ejemplo, un brazo robótico) se acopla mediante unos tornillos 315 que pasan a través de los orificios de montaje centrales del elemento de flexión 200. En la parte central del elemento de flexión 200 se acopla mecánicamente una estructura circular 320 a través de unos cojinetes de rodillos cruzados o un sistema similar. Tal como se entiende bien en la técnica, los cojinetes de rodillos cruzados comprenden anillos externos, anillos internos, y elementos de rodamiento; también pueden ser separadores metálicos. Debido a la disposición cruzada de los elementos de rodamiento, dichos cojinetes pueden soportar fuerzas axiales desde ambas direcciones, así como fuerzas radiales, cargas de momentos de inclinación y combinaciones de cargas con una sola posición de cojinete. Los carriles exteriores 325 del elemento de flexión 200 quedan sujetos a una fuente de energía giratoria, tal como un elemento de accionamiento armónico 330. De este modo, el elemento de flexión 200 transmite el par desde el elemento de accionamiento 330 a la salida del sistema, actuando como muelle entre ellos.

Los términos y expresiones empleados aquí se utilizan como términos y expresiones de descripción y no de limitación, y no existe ninguna intención, en el uso de dichos términos y expresiones, de excluir ningún equivalente de las características mostradas y descritas o partes de los mismos. Además, habiendo descrito ciertas realizaciones de la invención, será evidente para los expertos en la materia que pueden utilizarse otras realizaciones que incorporen los conceptos descritos aquí. En particular, no es necesario que realizaciones de la invención incluyan todas las características o presenten todas las ventajas descritas aquí. Más bien, pueden poseer cualquier subconjunto o combinación de características y ventajas. Por consiguiente, las realizaciones descritas deben considerarse en todos los aspectos como únicamente ilustrativas y no limitativas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Elemento de flexión plano (200) para resistir rotación alrededor de un eje central del mismo, comprendiendo el elemento de flexión:
- 10 una parte central (215) que comprende una pluralidad de puntos de unión (217); y por lo menos dos brazos de flexión en serpentín (220a, 220b) que se extienden opuestos y simétricos desde la parte central en un plano, estando caracterizado el elemento de flexión por el hecho de que cada uno de los brazos termina en un carril de montaje arqueado (225a, 225b), comprendiendo cada uno de los carriles de montaje una pluralidad de puntos de unión (217) y estando posicionados opuestos entre sí para definir y ocupar parcialmente una envoltura circular plana desplazada radialmente desde la parte central pero rodeando la misma, extendiéndose una parte de los brazos en serpentín sustancialmente hacia la envoltura entre los carriles de montaje.
- 15 2. Elemento de flexión de acuerdo con la reivindicación 1, en el que los brazos en serpentín (220a, 220b) tienen un grosor variable con una parte más delgada (230) del mismo en la envoltura.
- 20 3. Elemento de flexión de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que los brazos (220a, 220b) y la parte central (215) tienen una altura unitaria, siendo la altura por lo menos igual a una anchura de los brazos en una parte más estrecha de los mismos.
- 25 4. Elemento de flexión de acuerdo con la reivindicación 3, en el que una relación entre la altura y la anchura es por lo menos 2.
- 30 5. Elemento de flexión de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que los brazos (220a, 220b) y la parte central (215) tienen una altura no unitaria.
- 35 6. Elemento de flexión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el elemento de flexión (200) está realizado en titanio.
- 40 7. Elemento de flexión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que por lo menos una parte de los brazos (220a, 220b) tiene una sección transversal de viga en I.
- 45 8. Elemento de flexión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que por lo menos una parte de los brazos (220a, 220b) tiene huecos a lo largo de un eje de flexión neutro del mismo.
9. Actuador giratorio (100) que comprende:
un motor (110) configurado para girar alrededor de un eje de accionamiento; y
un elemento de flexión plano (200) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
10. Actuador de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el actuador tiene un eje de accionamiento coaxial con un eje de salida.
11. Actuador de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el actuador tiene un eje de accionamiento paralelo y desplazado respecto a un eje de salida.
12. Actuador de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el actuador tiene un eje de accionamiento oblicuo respecto a un eje de salida.

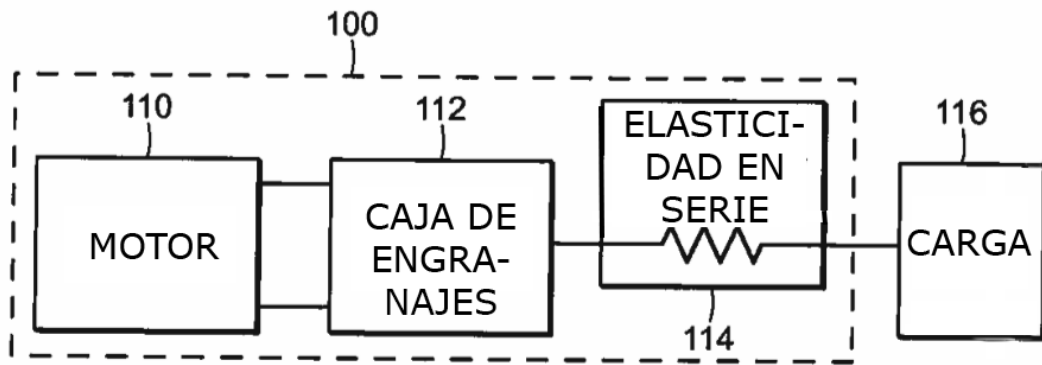


FIG. 1

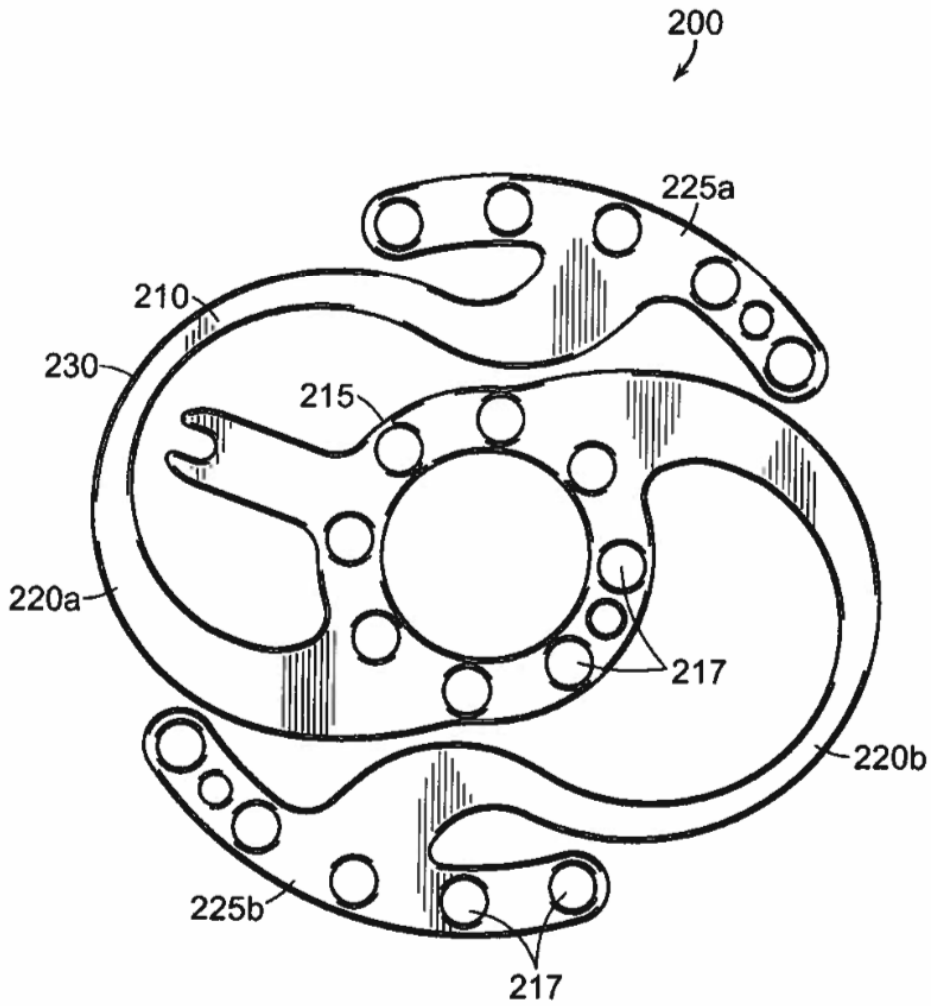


FIG. 2A

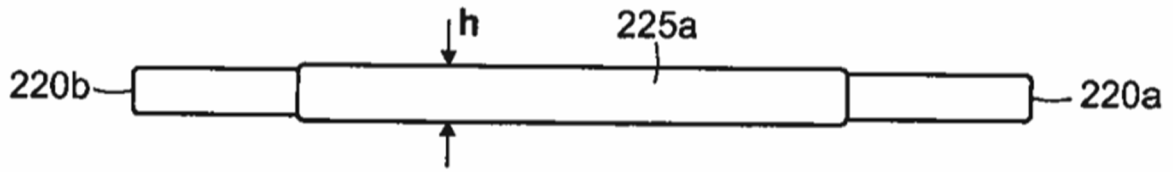


FIG. 2B

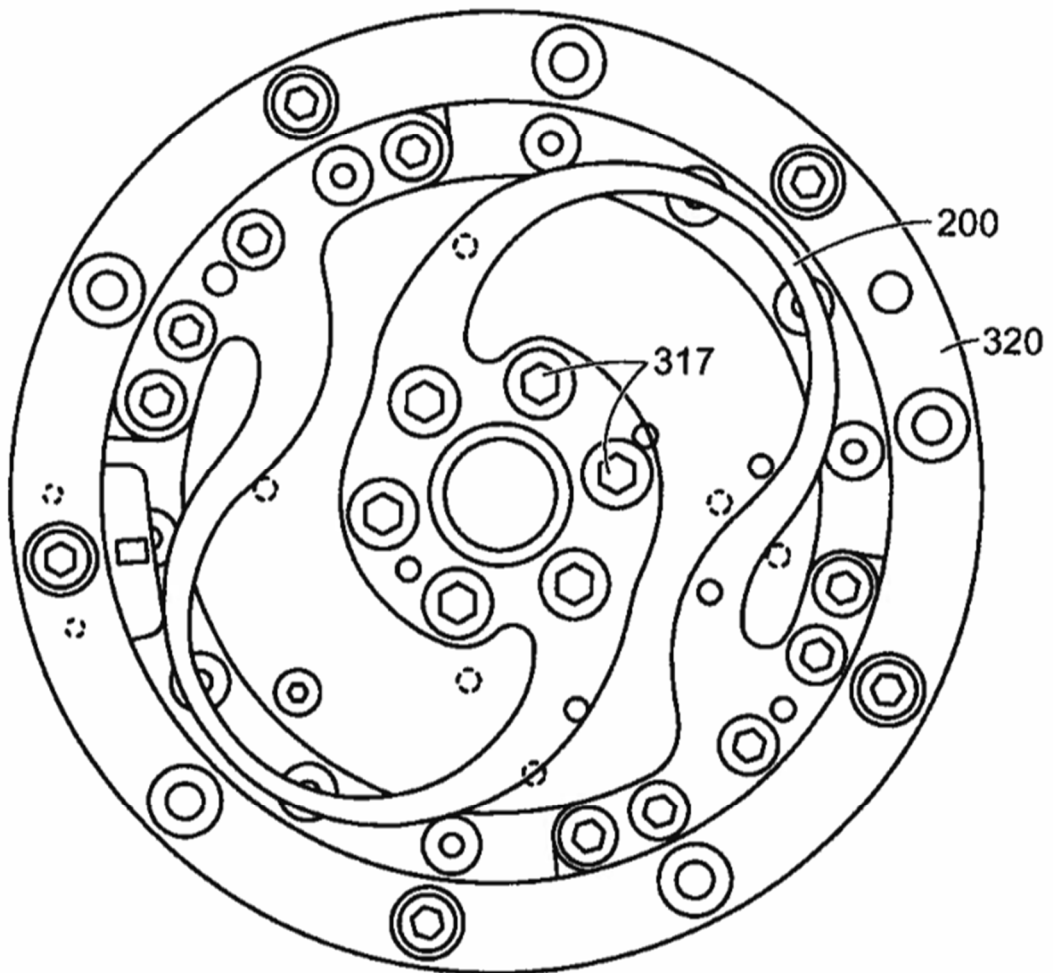


FIG. 3A

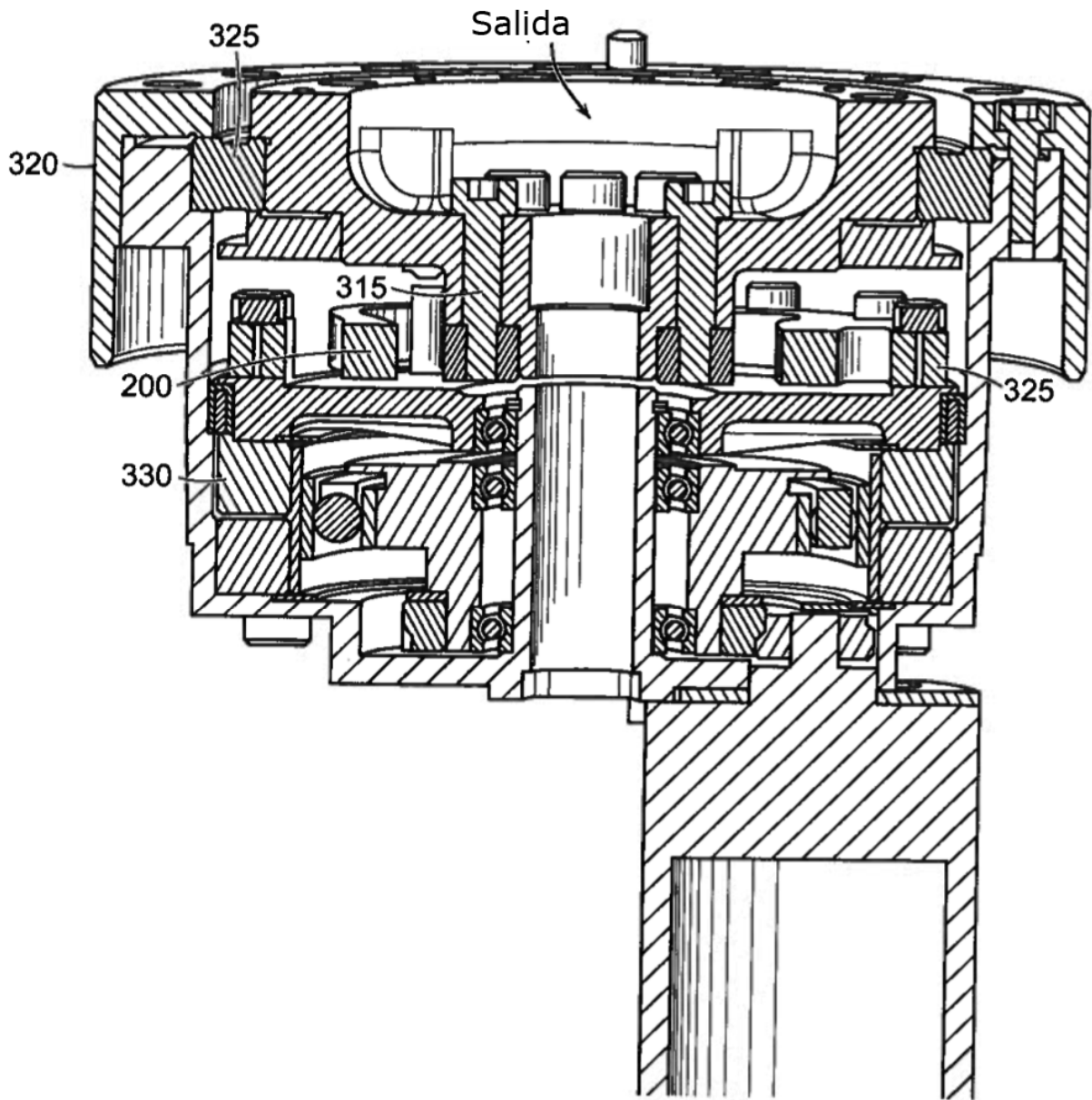


FIG. 3B