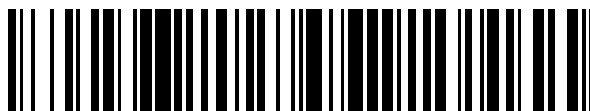


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 641 838**

51 Int. Cl.:

B25J 9/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.05.2013 PCT/EP2013/061224**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.12.2013 WO13178772**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.05.2013 E 13726214 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.07.2017 EP 2855104**

54 Título: **Columna vertebral para un robot humanoide**

30 Prioridad:

01.06.2012 FR 1255078

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

14.11.2017

73 Titular/es:

**SOFTBANK ROBOTICS EUROPE (100.0%)
43, rue du Colonel Pierre Avia
75014 Paris, FR**

72 Inventor/es:

MAISONNIER, BRUNO

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 641 838 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

Columna vertebral para un robot humanoide

La invención se refiere a una columna vertebral para un robot humanoide.

5 La columna vertebral humana es la parte del cuerpo humano que dispone del mayor número de articulaciones. Cada una de estas articulaciones dispone de entre cinco y seis grados de libertad. Se han realizado numerosas tentativas en robots humanoides con el fin de aproximarse mejor a las funcionalidades humanas.

10 De forma clásica se ha intentado reproducir en los robots varias vértebras de la columna vertebral humana disponiendo varias articulaciones en serie y motorizando cada una de estas articulaciones. Para aproximarse a una columna vertebral humana, es necesario prever un gran número de articulaciones, lo que aumenta la complejidad del producto tanto a nivel del número de accionadores independientes que se deben prever como a nivel del manejo de estos diferentes accionadores de la articulación, que se deben controlar de forma coordinada. De una forma similar, otros robots implementan varias articulaciones ensambladas en forma de una trompa de elefante, como se describe, por ejemplo, en el documento US 5 080 000.

15 La invención contempla proponer una columna vertebral flexible con dos grados de libertad de rotación alrededor de dos ejes horizontales. Una tercera rotación alrededor de un eje vertical no es implementada por la columna vertebral según la invención. Esta última rotación es implementada ventajosamente por un cuello de robot, cuello ensamblado en la parte alta de la columna vertebral. Esta columna vertebral solo incluye los principales movimientos de la columna vertebral humana, con el fin de simplificar la realización. La flexibilidad de la columna permite una curvatura monótona, es decir, repartida a lo largo de la columna, así como una pequeña inclinación cuando se implementa una de las rotaciones.

20 A este efecto, la invención tiene por objeto una columna vertebral para un robot humanoide, comprendiendo la columna un pedestal inferior destinado a ser fijado a una pelvis de robot y un pedestal superior destinado a ser fijado a un cuello de robot, permitiendo la columna vertebral dos rotaciones del pedestal superior con respecto al pedestal inferior, efectuándose una primera de las rotaciones alrededor de un eje sagital y efectuándose una segunda de las rotaciones alrededor de un eje transversal de la columna, caracterizada porque comprende además una barra flexible y accionadores lineales, estando la barra encastrada en una primera de sus extremidades en un punto en un primero de los pedestales y guiada al menos en un punto en un segundo de los pedestales, estando anclado cada uno de los dos entre los dos pedestales en unos puntos de anclaje, y porque para cada uno de los pedestales, los puntos de anclaje de los dos accionadores y el punto de encastre o de guiado de barra están distantes.

25 La invención será mejor comprendida y aparecerán otras ventajas a partir de la lectura de la descripción detallada de un modo de realización proporcionado a título de ejemplo, descripción ilustrada por el diseño adjunto, en el que:

30 las figuras 1 a 4 representan esquemáticamente un robot humanoide que implementa una columna vertebral según la invención;
las figuras 5 a 7 representan con más detalle un ejemplo de realización de una columna vertebral según la invención.

Por motivos de claridad, los mismos elementos portarán las mismas referencias en las diferentes figuras.

35 La figura 1 representa esquemáticamente un robot humanoide 10 visto de perfil, y la figura 2 representa este mismo robot visto de frente. El robot 10 comprende un pedestal inferior 11 destinado a ser fijado a una pelvis 12 del robot 10, y un pedestal superior 13 destinado a ser fijado a un cuello 14 del robot 10. El pedestal inferior 11 y la pelvis 12 están conectados entre sí, estando representados por un mismo recuadro. La pelvis 12 está articulada sobre las piernas 15 del robot 10. Una columna vertebral 20 conecta los dos pedestales 11 y 13. La columna vertebral 20 permite dos rotaciones del pedestal superior 13 con respecto al pedestal inferior 11. Una primera de las rotaciones se efectúa alrededor de un eje sagital 21 de la columna vertebral 20, y una segunda rotación se efectúa alrededor de un eje transversal 22 de la columna vertebral 20.

40 La figura 3 representa de perfil el robot 10 en el que el pedestal superior 11 sufre una rotación alrededor del eje transversal 22 y está inclinado hacia delante. La figura 4 representa de frente el robot 10 en el que el pedestal superior 11 sufre una rotación alrededor del eje sagital 21 y está inclinado sobre uno de sus lados. Las dos rotaciones pueden, lógicamente, combinarse.

45 Según la invención, la columna vertebral 20 comprende una barra flexible 25 y dos accionadores lineales 26 y 27. La barra 25 forma una viga encastrada en una primera extremidad 28 en un punto 29 del pedestal inferior 11 y está guiada o encastrada en una segunda extremidad 30 en un punto 31 del pedestal superior 13. La barra 25 sufre una flexión durante la rotación del pedestal superior 13. Los accionadores 26 y 27 están, ambos, anclados entre los dos pedestales 11 y 13 en unos puntos de anclaje distantes del punto de encastre de barra 25. El accionador 26 está anclado en el pedestal inferior 11 al punto 32 y en el pedestal superior 13 al punto 33. El accionador 27 está anclado en el pedestal inferior 11 al punto 34 y en el pedestal superior 13 al punto 35.

Los accionadores lineales 26 y 27 son ventajosamente unos gatos lineales de efecto doble. Los puntos de anclaje 32 a 35 están formados por las uniones de rótula.

La columna vertebral 20 comprende ventajosamente al menos dos rótulas de levas conectadas en serie entre los dos pedestales 11 y 13. En el ejemplo representado, la columna vertebral 20 comprende tres rótulas de levas 37, 38 y 39. Una rótula de piñones es una unión con dos grados de libertad de rotación. Con respecto a una unión de rótula clásica con tres grados de libertad, los piñones de la unión bloquean la tercera rotación. Solo quedan la rotación alrededor del eje sagital 21 y la rotación alrededor del eje transversal 22. La rotación alrededor de un eje vertical 40 de la columna vertebral 20 está bloqueada. Al impedir la rotación de las rótulas alrededor de un eje vertical, la barra 25 no sufre una torsión, sino únicamente una flexión. Las denominaciones de los diferentes ejes 21, 22 y 40 se entienden también tanto para la columna vertebral 20 como para el robot 10, cuando éste está en posición vertical. En la práctica, particularmente cuando el robot 10 se desplaza, los ejes 21, 22 y 40 son susceptibles de ver evolucionar su orientación. Por comodidad, se puede definir la orientación de estos ejes con respecto al pedestal inferior 11. Estando las rótulas de levas unidas en serie entre sí, se podrán definir para cada una de ellas sus ejes de rotación. Por convención, los ejes de las tres rótulas estarán paralelos cuando la columna vertebral 20 esté vertical, dicho de otro modo, cuando la barra 25 no sufre una flexión.

Para evitar un pandeo de la barra 25, ésta está guiada por cada una de las rótulas de levas 37, 38 y 39.

La figura 5 representa un ejemplo de realización de la columna vertebral 20 vista desde la parte posterior del robot 10. La figura 6 representa un corte de la columna vertebral de la figura 5 por un plano sagital AA que forma un plano de simetría de la columna vertebral 20. La figura 7 representa la columna vertebral 20 vista desde arriba.

En las figuras 5 a 7 se distingue un modo de realización de las rótulas de levas 37, 38 y 39. La rótula de piñones 37 comprende una bóveda 42 y una cavidad 43, ambas de forma esférica, y complementarias. La bóveda 42 está conectada con el pedestal inferior 11, y la cavidad 43 está formada en la parte baja de una vértebra 44. La bóveda 42 y la cavidad 43 tienen un mismo diámetro nominal, de forma que se deslizan entre sí para permitir las rotaciones de la rótula 37. Los piñones pertenecientes a la vértebra 44 pueden deslizarse en las ranuras de la bóveda 42 con el fin de impedir la rotación de la vértebra 44 alrededor de un eje vertical 45. Igualmente, la rótula 38 comprende una bóveda esférica 46, una cavidad esférica 47 que coopera para realizar la función de rótula, así como piñones que pueden circular en las ranuras para bloquear la rotación alrededor del eje vertical 45. La bóveda 46 está formada en la parte alta de la vértebra 44, y la cavidad 47 en la parte baja de una vértebra 48. Finalmente, la rótula 39 comprende una bóveda esférica 49, una cavidad esférica 50 que coopera para realizar la función de rótula, así como piñones que pueden circular en las ranuras para bloquear la rotación alrededor del eje vertical 45. La bóveda 49 está formada en la parte alta de la vértebra 48, y la cavidad 47 en el pedestal superior 13 o en una pieza montada conectada con el pedestal superior 13. Por convención, el eje vertical de las rótulas 38 y 39 se entiende cuando la columna vertebral 20 está vertical. En la práctica, el eje denominado « vertical » de una rótula se inclina en función de la rotación de la o las rótulas que la conecta con el pedestal inferior.

El desplazamiento angular de las rotaciones de cada una de las rótulas 37, 38 y 39 no es demasiado importante, típicamente del orden de una decena de grados. Es posible vaciar las vértebras 44 y 48 para dejar pasar la barra 25 al centro de cada una de las vértebras 44 y 48. Las vértebras 44 y 48 están perforadas verticalmente de lado a lado, lo que permite el guiado de la barra 25 a lo largo de toda su altura. La barra 25 tiene ventajosamente una sección circular con el fin de tener un comportamiento idéntico en la flexión para cualquier rotación de la columna vertebral 20.

Ventajosamente, la barra 25 comprende varios ramales que se extienden sustancialmente paralelos entre sí. En la figura 6, son visibles tres ramales 55, 56 y 57. Los ramales están encastrados en el pedestal inferior 11 y guiados por cada vértebra 44 y 48. El hecho de realizar la barra 25 con varios ramales permite reducir las tensiones de tracción en cada uno de los ramales durante la flexión de la barra 25.

La barra 25 puede estar encastrada en el pedestal superior 13. En el caso de la presencia de las rótulas de levas 37 a 39, es posible dejar a la barra 25 un grado de libertad de traslación siguiendo el eje vertical 45 con respecto al pedestal 13. En efecto, las rótulas fijan la distancia que separa los dos pedestales 11 y 13 al estar dispuestas las unas sobre las otras. La barra 25 o los ramales que la componen pueden deslizarse verticalmente con respecto al pedestal superior 13. El guiado de la barra 25 hacia una de sus extremidades también presenta la ventaja de evitar una cadena de costillas con unas tolerancias demasiado cerradas entre los dos pedestales 11 y 13. Así, durante las rotaciones de las rótulas de levas 37 a 39, la barra 25 no está sometida más que a una flexión pura. Es evidente que es posible invertir el encastrado y el guiado de la barra 25. Dicho de otro modo, la barra 25 puede estar encastrada en el pedestal superior 13 y guiada en el pedestal inferior 11.

Con el fin de asegurar el guiado de la barra 25, en el modo de realización en el que se realiza con varios ramales, cada una de las rótulas de levas 37 a 39 comprende ventajosamente una rejilla sustancialmente perpendicular a la dirección principal de la barra 25. Cuando la columna vertebral 20 está vertical, la dirección principal de barra 25 es el eje vertical 45. De forma más precisa, la rótula 37 comprende una rejilla 60 que forma una parte alta de la cavidad 43, la rótula 38 comprende una rejilla 61 que forma una parte alta de la cavidad 47 y la rótula 39 comprende una rejilla 62 que forma una parte alta de la cavidad 50. Cada una de las rejillas 60, 61 y 62 está perforada con varios orificios 65 repartidos sobre la rejilla. El guiado de cada uno de los ramales de la barra 25 es realizado por uno de

los orificios 65 de cada una de las rejillas. Estos orificios 65 son bien visibles en la vista desde arriba de la figura 7.

Durante los movimientos de la columna vertebral 20, los ramales son llevados a deslizarse ligeramente en los orificios 65. Por lo tanto es importante prever un juego funcional entre un orificio 65 y el ramal que lo atraviesa. Los orificios 65 y los ramales pueden ser cilíndricos. La diferencia de diámetro entre el ramal y el orificio 65 debe permitir un deslizamiento del ramal sobre toda la altura de la rejilla correspondiente. Se debe permitir un desplazamiento local a nivel de la rejilla entre el eje del ramal y el eje de orificio 65. Esto obliga a aumentar el diámetro del orificio, lo que se hace en detrimento de guiado del ramal hacia su orificio 65. Para mejorar este guiado, cada uno de los orificios puede poseer una forma arqueada a media altura de la rejilla a la cual pertenece el orificio 65, altura medida siguiendo la dirección principal 45, ensanchándose cada orificio 65 hacia sus extremidades por un lado y por otro de la forma arqueada. Por ejemplo, se puede implementar, para cada orificio, una forma hiperboloide de revolución alrededor de un eje paralelo al eje 45. De una forma más simple, una forma de doble cono permite ya mejorar el guiado de los ramales.

Cuando la columna vertebral 20 está vertical, es posible desplazar el eje vertical sobre el cual están situadas las rótulas 37 a 39 con respecto al eje vertical 40 del robot 10, teniendo en consideración que cuando el robot 10 está en posición vertical, el centro de gravedad de la parte superior del robot 10, parte situada por encima del pedestal superior 13, está situado sobre el eje vertical 40. Esta situación refleja la anatomía humana, en la que la columna vertebral está dispuesta en la espalda del cuerpo humano. Cuando el robot está en posición vertical, el desplazamiento de los ejes 40 y 45 obliga normalmente a los gatos a ejercer una presión permanente para oponerse al par generado por este desplazamiento.

Para evitar esta presión permanente, la columna vertebral 20 puede comprender un resorte 68 dispuesto entre los dos pedestales 11 y 13, de forma que se ejerza sobre el pedestal superior 13 una fuerza que tienda a llevarlo hacia la parte trasera del robot 10. El resorte 68 es bien visible en las figuras 1 y 3.

Otra alternativa que permite atravesar el resorte consiste en pretensar la barra 25 en una flexión en un plano sagital, de forma que se ejerza sobre el pedestal superior una fuerza que tienda a llevarlo hacia la parte de atrás del robot 10 cuando la columna vertebral está vertical. Cuando la barra 25 está constituida por varios ramales, este pretensado puede obtenerse utilizando las rejillas 60, 61 y 62. Ventajosamente, las rejillas 60, 61 y 62 son idénticas. Cada rejilla comprende más orificios 65 que ramales, y la barra 25 está pretensada, haciendo pasar los ramales por los orificios de cada rejilla. Para al menos un ramal, los orificios de guiado de este ramal en cada una de las rejillas no están enfrente, lo que asegura para este ramal una dirección curva cuando la columna vertebral 20 está vertical, y por lo tanto un pretensado.

El desplazamiento angular lateral de la columna vertebral 20 es simétrico con respecto al plano sagital AA y ventajosamente, cuando la columna vertebral 20 está vertical, los puntos de anclaje 32 a 35 de los accionadores 26 y 27 están situados sobre los pedestales 11 y 13 de forma simétrica con respecto al plano respecto sagital AA que pasa por la barra 25.

Cuando la barra 25 está formada por varios ramales, se define por convención el punto de encastre 29 como el centro de una zona en la que los ramales están encastrados en el pedestal inferior 11. Esto es lo mismo para el punto de encastre 31 o el punto de guiado de la barra 25 en el pedestal superior 13.

Es ventajoso favorecer los movimientos del robot 10 hacia delante. A este efecto, para cada uno de los pedestales, un ángulo α que forman dos rectas concurrentes en el punto de encastre o de guiado de la barra 25 y que pasan cada una por un punto de anclaje de un accionador, tiene un valor inferior a 90° . En la figura 7 se distingue para el pedestal superior 13 una recta 70 que conecta los puntos 31 y 33, y una recta 71 que conecta los puntos 31 y 35. En una realización preferida, con el fin de aproximarse mejor a la anatomía humana, las rectas 70 y 71 forman un ángulo α de 60° .

Cuando la columna vertebral 20 está vertical, siempre para favorecer los movimientos del robot 10 hacia delante, los accionadores 26 y 27 están ventajosamente inclinados con respecto a la dirección vertical 40, de forma que el par ejercido para cada uno de los accionadores 26 y 27 para realizar las rotaciones sea máximo en mitad del recorrido angular de cada una de las rotaciones para una fuerza dada ejercida sobre el accionador considerado. Esta inclinación es bien visible en la figura 6. Cuando los dos gatos 26 y 27 tiran hacia la parte inferior del pedestal superior 13, los gatos se enderezan.

Ventajosamente, para reducir las dimensiones de la columna vertebral 20, los puntos de anclaje 32 y 34 sobre el pedestal inferior 11 de los dos accionadores 26 y 27 están situados más altos que el punto de encastre o de guiado de la barra 25 en el pedestal inferior 11. Previamente se ha visto que los accionadores 26 y 27 están anclados en el pedestal inferior por medio de una rótula. Los puntos de anclaje 32 y 34 están definidos en el centro de rotación de la rótula considerada. Los puntos de anclaje 32 y 34 están desplazados verticalmente una altura h , visible en la figura 6, con respecto al punto 29. Como previamente, la dirección vertical del desplazamiento está definida para un robot 10 en posición vertical. Este desplazamiento en la altura permite reducir las dimensiones de la columna vertebral 20 en su plano sagital AA, dimensiones relacionadas con la inclinación de los accionadores 26 y 27.

- Se puede definir la barra 25 para que conserve constante entre sus dos extremidades 28 y 30 su momento de inercia alrededor de su eje longitudinal. Este eje es el eje vertical 45 cuando la columna vertebral 20 está vertical. Este momento de inercia puede estar definido cuando la barra 25 es monobloque o cuando está formada por varios ramales. En el caso de una realización con varios ramales, el momento de inercia global de la barra 25 es la
- 5 acumulación de los momentos de inercia de los diferentes ramales asociados en función de la distancia que separa los ramales. La barra 25 está formada, por ejemplo, por una pieza mecánica monobloque como, por ejemplo, una barra de sección constante que se extiende entre las dos extremidades 28 y 30. Cuando la barra está formada por varios ramales, cada uno está formado, por ejemplo, por una pieza mecánica monobloque formada igualmente por
- 10 una barra de sección constante que se extiende entre las dos extremidades 28 y 30. La pieza monobloque puede estar realizada en un material homogéneo, por ejemplo, ser metálica, o de un composite que comprende, por ejemplo, fibras recubiertas con resina. Las fibras se extienden a lo largo de toda la longitud de la barra 25 entre sus dos extremidades 28 y 30.

REIVINDICACIONES

1. Columna vertebral para robot humanoide (10), comprendiendo la columna (20) un pedestal inferior (11) destinado a ser fijado a una pelvis del robot (10) y un pedestal superior (13) destinado a ser fijado a un cuello (14) del robot (10), permitiendo la columna vertebral (20) dos rotaciones del pedestal superior (13) con respecto al pedestal inferior (11), efectuándose una primera de las rotaciones alrededor de un eje sagital (21) y efectuándose una segunda de las rotaciones alrededor de un eje transversal (22) de la columna (20), **caracterizada porque** comprende además una barra flexible (25) y accionadores lineales (26, 27), estando la barra (25) encastrada en una primera de sus extremidades (28, 30) en un punto (29) en un primero de los pedestales (11, 13) y guiada hacia un punto (31) en un segundo de los pedestales (11, 13) de forma que se pueda deslizar con respecto al segundo pedestal (13), estando los dos accionadores (26, 27) anclados entre los dos pedestales (11, 13) en los puntos de anclaje (32, 33, 34, 35) y **porque** para cada uno de los pedestales (11, 13), los puntos de anclaje (32, 33, 34, 35) de los dos accionadores (26, 27) y el punto de encastre o de guiado (29, 31) de la barra (25) están distantes.
2. Columna vertebral según la reivindicación 1, **caracterizada porque** los accionadores lineales (26, 27) son gatos lineales de efecto doble.
3. Columna vertebral según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** comprende al menos dos rótulas de levas (37, 38, 39) conectadas en serie entre los dos pedestales (11, 13) y **porque** la barra (25) está guiada por cada una de las rótulas de levas (37, 38, 39).
4. Columna vertebral según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** la barra (25) comprende varios ramales (55, 56, 57) que se extienden sustancialmente paralelos entre sí.
5. Columna vertebral según las reivindicaciones 3 y 4, **caracterizada porque** cada una de las rótulas de levas (37, 38, 39) comprende una rejilla (60, 61, 62) sustancialmente perpendicular a una dirección principal (45) de la barra (25), **porque** la rejilla (60, 61, 62) está perforada por varios orificios (65) repartidos sobre la rejilla (60, 61, 62) y **porque** el guiado de cada uno de los ramales (55, 56, 57) es realizado por uno de los orificios (65) de la rejilla (60, 61, 62).
6. Columna vertebral según la reivindicación 1, **caracterizada porque** cada uno de los orificios (65) posee una forma arqueada a media altura de la rejilla a la cual pertenece el orificio (65), altura medida siguiendo la dirección principal (45), ensanchándose cada orificio (65) hacia sus extremidades por un lado y por otro de la forma arqueada.
7. Columna vertebral según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque**, cuando la columna vertebral (20) está vertical, la barra (25) está pretensada en flexión en un plano sagital (AA) de forma que se ejerza sobre el pedestal superior (13) una fuerza que tiende a llevarlo hacia la parte trasera del robot (10).
8. Columna vertebral según una cualquiera de las reivindicaciones 6 y 7, **caracterizada porque** las rejillas (60, 61, 62) de cada una de las rótulas de levas (37, 38, 39) son idénticas, **porque** cada rejilla (60, 61, 62) comprende más orificios (65) que ramales (55, 56, 57), y **porque** la barra (25) es pretensada haciendo pasar los ramales (55, 56, 57) por los orificios (65) de cada rejilla (60, 61, 62), y **porque** para al menos un ramal (55, 56, 57) los orificios (65) de guiado de este ramal (55, 56, 57) de cada una de las rejillas (60, 61, 62) no están enfrente.
9. Columna vertebral según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizada porque** comprende un resorte (68) dispuesto entre los dos pedestales (11, 13) de forma que se ejerza sobre el pedestal superior (13) una fuerza que tienda a llevarlo hacia la parte trasera del robot (10).
10. Columna vertebral según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** cuando la columna vertebral (20) está vertical, los puntos de anclaje (32 a 35) de los accionadores (26, 27) están situados sobre los pedestales (11, 13) de forma simétrica con respecto a un plano sagital (AA) que pasa por la barra (25).
11. Columna vertebral según la reivindicación 10, **caracterizada porque** para cada uno de los pedestales (11, 13), un ángulo (α) que forman dos rectas (70, 71) concurrentes en un punto de encastre o de guiado de la barra (25) y que pasan cada una por un punto de anclaje (32 a 35) de un accionador (26, 27), y tiene un valor inferior a 90° , y preferiblemente igual a 60° .
12. Columna vertebral según una cualquiera de las reivindicaciones 9 o 10, **caracterizada porque** cuando la columna vertebral (20) está vertical, los accionadores (26, 27) están inclinados con respecto a una dirección vertical (40) de forma que el par ejercido por cada uno de los accionadores (26, 27) para realizar las rotaciones sea máximo en mitad del recorrido angular de cada una de las rotaciones para una fuerza dada ejercida por el accionador considerado.
13. Columna vertebral según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** los puntos de anclaje (32, 34) de los dos accionadores (26, 27) sobre el pedestal inferior (11) están situados más altos que el punto de encastre o de guiado de la barra (25) en el pedestal inferior (11).
14. Columna vertebral según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** la barra (25) conserva constante, entre sus dos extremidades (28, 30), un momento de inercia alrededor de su eje longitudinal (45).

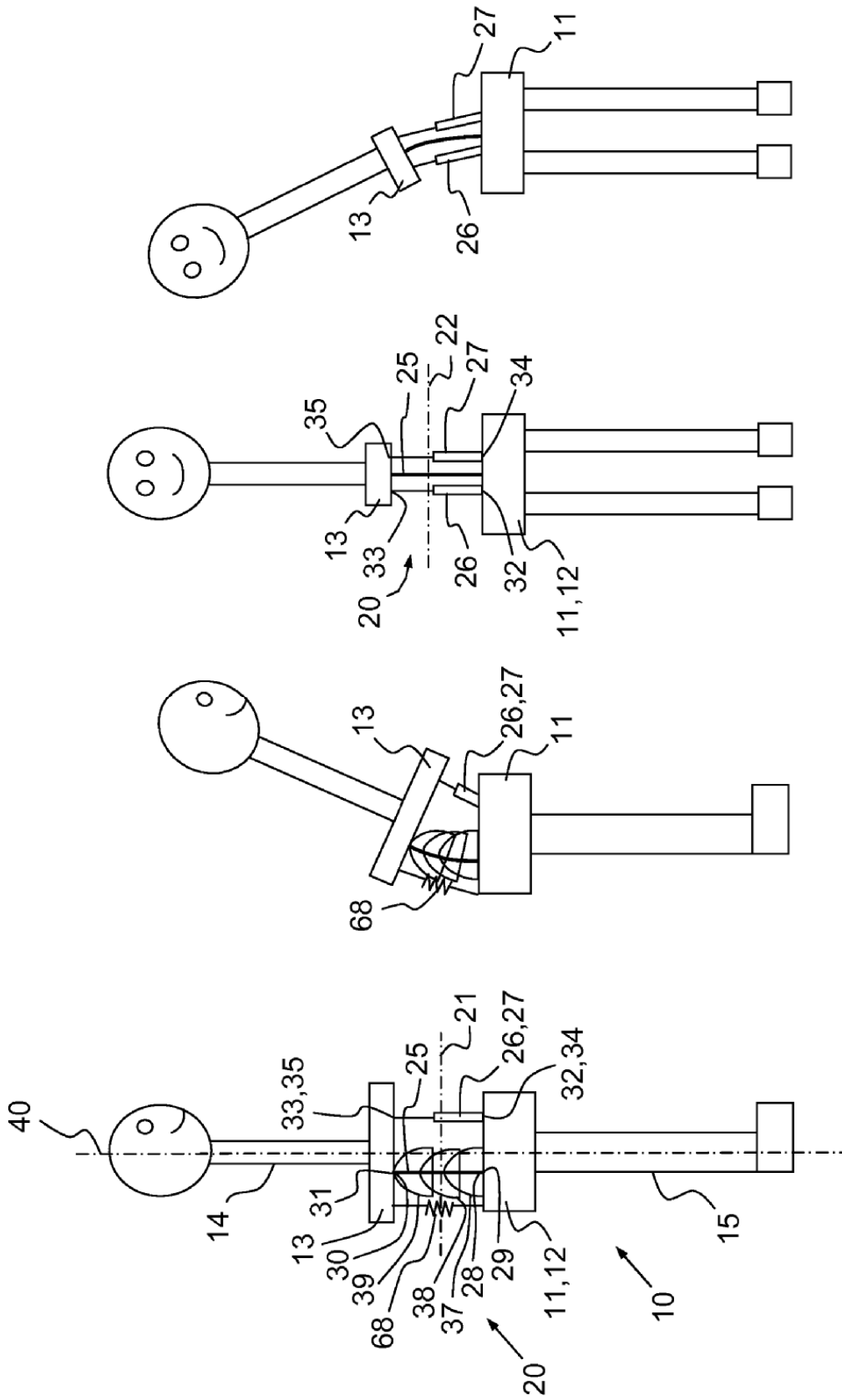


FIG.4

FIG.2

FIG.3

FIG.1

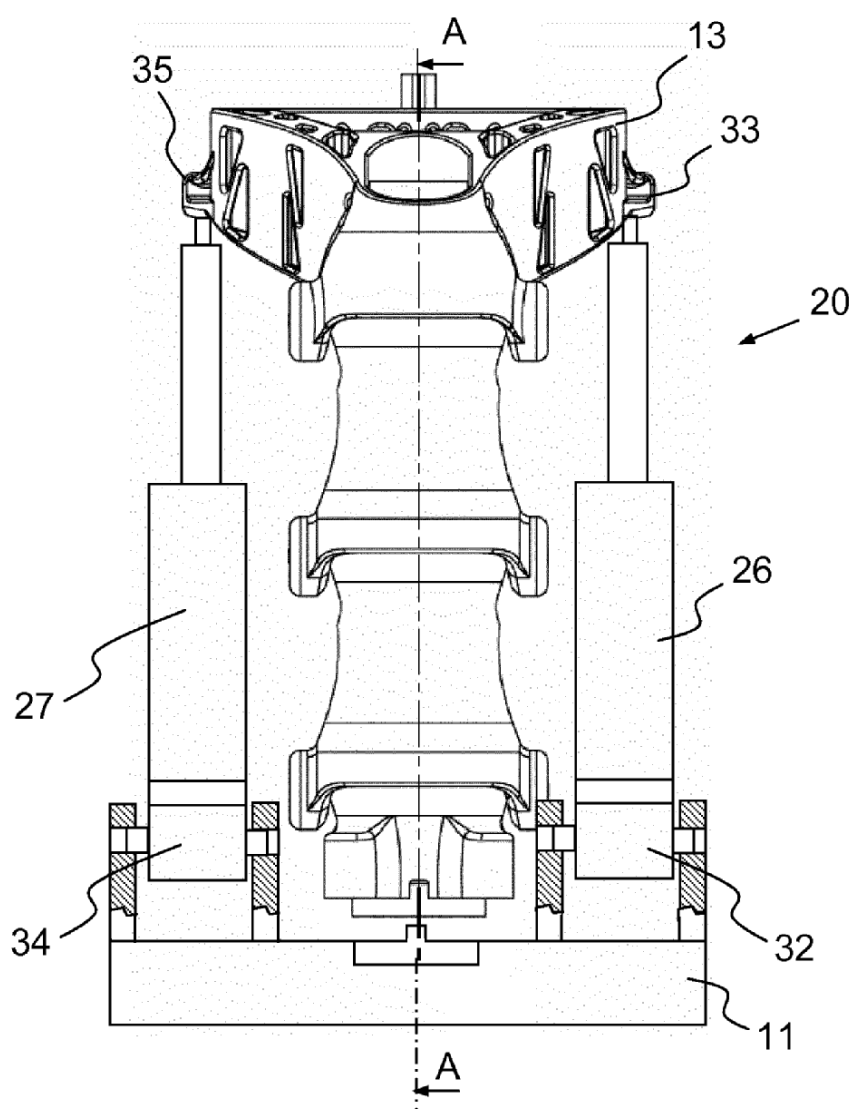


FIG.5

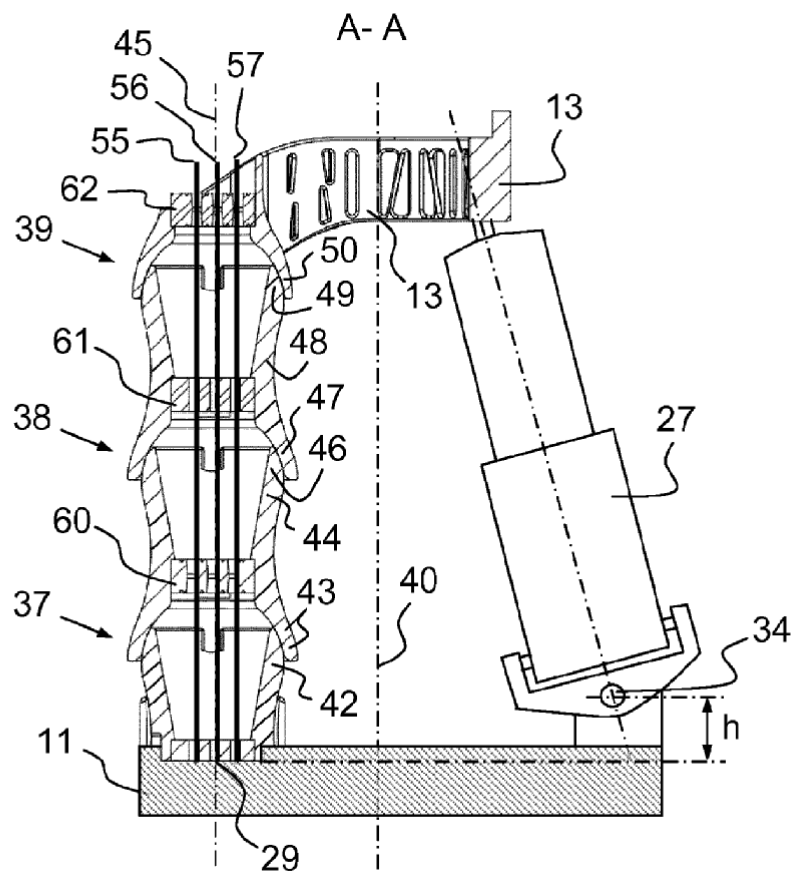


FIG. 6

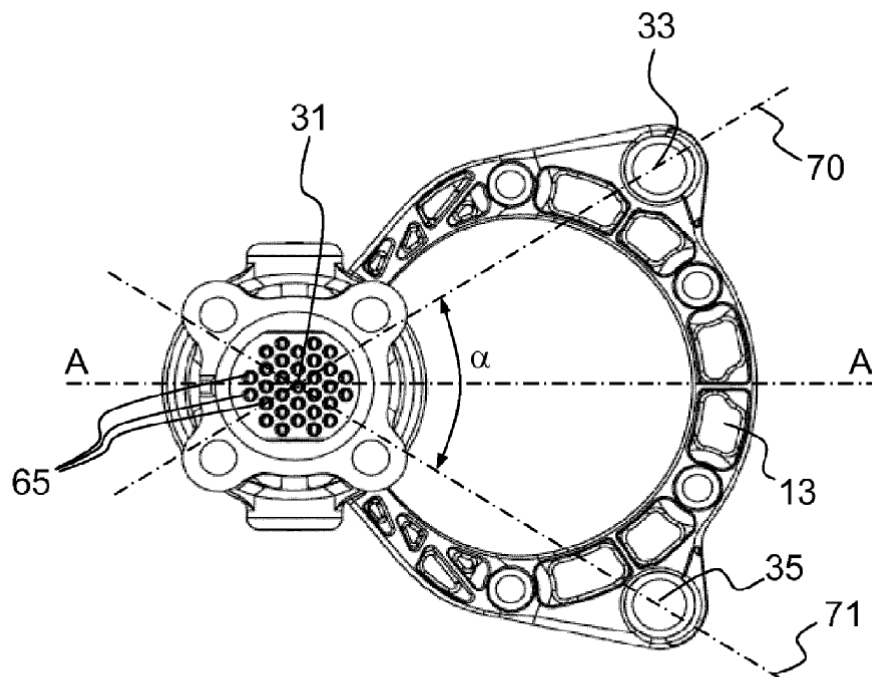


FIG. 7