

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 877 214**

51 Int. Cl.:

B25J 15/00 (2006.01)

B25J 15/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.11.2017** **PCT/IB2017/057477**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.06.2018** **WO18100500**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2017** **E 17826277 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.03.2021** **EP 3548228**

54 Título: **Mano robótica subaccionada**

30 Prioridad:

29.11.2016 IT 201600120646

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

16.11.2021

73 Titular/es:

BIONIT LABS S.R.L. (100.0%)

Via Antonio Bortone 9

73100 Lecce, IT

72 Inventor/es:

ZAPPATORE, GIOVANNI ANTONIO

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 877 214 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

Mano robótica subaccionada

Introducción

La presente invención industrial se refiere a una mano robótica subaccionada.

5 Campo técnico

La definición "mano robótica" se refiere a un efector terminal con una inspiración antropomórfica. Debido a la complejidad de la mano humana, la creación de un mecanismo capaz de reproducir con precisión sus funciones es un gran desafío.

10 Las manos robóticas propuestas en la literatura se pueden dividir en tres categorías principales, de acuerdo con el número de sus grados de libertad (GDL) y de sus grados de accionamiento (GDA): completamente accionadas, subaccionadas y accionadas de forma redundante.

15 Las manos robóticas completamente accionadas tienen un número de grados de libertad igual al número de grados de accionamiento. Las manos robóticas subaccionadas tienen un número de grados de libertad mayor que el número de grados de accionamiento. Las manos robóticas accionadas de forma redundante tienen un número de grados de libertad menor que el número de grados de accionamiento.

Las manos robóticas completamente accionadas, si bien son capaces de agarrar de manera eficiente, son extremadamente complejas y esto conduce a unos costos altos y a una falta general de robustez. Esto es especialmente cierto en el caso de las manos robóticas accionadas de forma redundante. Esta es la principal razón por la que, recientemente, se puede encontrar un interés creciente en diseños subaccionados.

20 La idea básica del subaccionamiento en el agarre robótico consiste en utilizar un sistema mecánico que, por medio de elementos pasivos como muelles y límites mecánicos, pueda adaptarse automáticamente a la forma específica del objeto agarrado, de modo que el número de accionadores requeridos sea menor que el número de GDL del manipulador. Esto da como resultado sistemas de control más simples y una reducción de los costes del manipulador.

25 Uno de los modos de obtener un mecanismo subaccionado consiste en utilizar sistemas diferenciales, que distribuyen automáticamente una entrada entre varias salidas, estando definida la relación entre dichas salidas por su estado cinemático y por los parámetros de diseño del propio mecanismo.

30 En particular, según la terminología de la International Federation for the Theory of Mechanisms and Machines (Federación Internacional de Teoría de Mecanismos y Máquinas), un mecanismo diferencial es un "mecanismo para el cual el grado de libertad es dos y que puede aceptar dos entradas para producir una salida o puede resolver una sola entrada en dos salidas".

Para obtener más de dos salidas se pueden utilizar múltiples módulos diferenciales, configurados en serie o en paralelo según las necesidades, añadiendo cada uno de ellos 1 GDL al sistema. En general se requieren (n-1) etapas diferenciales para obtener n salidas.

Técnica anterior

35 En particular, de acuerdo con el estado de la técnica se conocen manos robóticas subaccionadas que utilizan una o más etapas diferenciales para transmitir el movimiento a los diversos dedos. En el documento KR100848179 se describe un ejemplo. Otro ejemplo se describe en el documento JP2001277175, en donde se describe una mano robótica cuyo esquema cinemático, extraído de dicho documento, se muestra en la Figura 1. En lo que se puede entender por la descripción contenida en el documento, el mecanismo mostrado permite mover cuatro dedos de una

40 mano (del índice al meñique) utilizando tres etapas diferenciales, por medio de un solo motor. Sin embargo, dicho mecanismo tiene muchos inconvenientes relacionados con el hecho de que no es posible mover también el pulgar con el mismo motor y con el hecho de que la construcción del sistema utiliza una cantidad excesiva de engranajes y poleas, y por lo tanto está sujeto demasiados juegos y fricciones. Además, en caso de avería, los dedos no se pueden sustituir fácilmente e, incluso cuando funcionan, solo presentan dos falanges, no tres como ocurre en la mano humana.

45 Otro ejemplo conocido en el estado de la técnica es la publicación Zappatore et al. (2017) Adam's Hand: An Underactuated Robotic End-Effector, en Advances in Italian Mechanism Science. Mechanisms and Machine Science, vol. 47. Springer, Cham (en adelante indicada también como D1), donde se describe una mano antropomórfica subaccionada, en la que los cinco dedos y el metacarpo son movidos por un solo motor por medio de una secuencia de etapas diferenciales. Sin embargo, en el mecanismo descrito en esta publicación, el árbol de transmisión está

50 conectado directamente tanto al portasatélites de la etapa diferencial que transmite el movimiento a los cuatro dedos alineados como al engranaje planetario de la etapa diferencial que mueve el metacarpo. Esta configuración del mecanismo conduce a una serie de problemas, consistiendo el más evidente de ellos en que, si los cuatro dedos paralelos se detienen porque están agarrando un objeto o han alcanzado sus límites mecánicos, esto implica que el

motor debe detenerse y en consecuencia también el pulgar tiene que detenerse, incluso si todavía no está agarrando el objeto.

Otro inconveniente del mecanismo descrito en dicha publicación consiste en que los acoplamientos entre el motor y la cuarta etapa y entre la cuarta y la quinta etapa respectivamente se producen al conectar el motor (M2) al engranaje planetario de la siguiente etapa (S4, R) y al conectar el engranaje planetario anterior (S4, L) al engranaje planetario de la siguiente etapa (S5, R), y no al portasatélites de la siguiente etapa, en los dos casos respectivamente P4 y P5. En determinadas condiciones, esto implica combinaciones no deseadas de movimientos que imposibilitan la acción de agarre, como por ejemplo la flexión de los dedos 2, 3, 4 y 5 mientras se extiende el pulgar y viceversa, o la flexión y abducción contemporáneas del pulgar.

Otro inconveniente del mecanismo de dicha publicación consiste en que en el interior de los dedos se utiliza un tren de engranajes intermedios para transmitir el movimiento entre falanges. Esto impide tanto implementar grados de libertad de aducción/abducción pasiva, ya que los dedos han de permanecer sustancialmente alineados entre sí y con la palma, como modificar fácilmente la longitud de la falange, ya que para ello es necesario modificar el número y el módulo de los engranajes. Por lo tanto, básicamente, los dedos se han de rediseñar para cada usuario diferente, encareciendo el dispositivo, o, como alternativa, solo deben diseñarse unos pocos "tamaños" estándar, como ocurre con otras prótesis existentes.

Otro documento conocido en el estado de la técnica relativo al mismo problema es el documento CN87103848, que describe una mano robótica cuyo esquema cinemático comprende una serie de etapas diferenciales que distribuyen el movimiento en la entrada de un motor entre los diversos elementos de una mano robótica, en la que los diversos dedos también están formados por etapas diferenciales. Claramente, la realización de una mano antropomórfica con dedos realizados mediante etapas diferenciales de engranajes cónicos es problemática en términos de peso y dimensiones, y, sobre todo, no permite modificar fácilmente las dimensiones de los dedos. Además, en el documento no se hace referencia a medidas útiles para mejorar el parecido de la mano robótica con la mano humana desde un punto de vista funcional, ni se muestra una realización desde un punto de vista constructivo.

Problema técnico y objetivo

Por lo tanto, sigue sin resolverse el problema de proporcionar una mano robótica subaccionada que supere los inconvenientes vinculados al estado de la técnica conocido y que permita, en particular, el accionamiento de todos los dedos, incluyendo el pulgar, mediante un solo motor, que sea robusta y compacta y que permita una sustitución simple de los dedos, por ejemplo en caso de avería.

Otro problema técnico consiste en dotar a una mano robótica muy subaccionada de un mecanismo basado en engranajes y correas dentadas y sin utilizar medios de accionamiento unidireccionales, tales como tendones.

Además, la presente invención proporciona una mano robótica subaccionada controlada por un solo motor, en la que el movimiento del pulgar puede continuar incluso si los otros cuatro dedos están agarrando un objeto.

Otro problema técnico más resuelto por la presente invención consiste en proporcionar una mano antropomórfica con dimensiones y peso comparables a los de una extremidad normal, reduciendo la cantidad de componentes activos (motores) con el fin de reducir el peso del dispositivo y aumentar su facilidad de uso. Otro problema resuelto por la mano según la presente invención consiste en proporcionar una mano robótica subaccionada cuyo mecanismo permita imitar la funcionalidad de la mano humana con la mayor precisión posible, y que permita en particular distribuir el par de apriete de manera diferente entre los diversos dedos, como ocurre en una mano humana.

Por último, un problema técnico resuelto por la presente invención consiste en proporcionar una mano robótica subaccionada cuyas dimensiones de las falanges de los dedos, su aspecto y los materiales de los que está hecha se puedan modificar sin necesidad de rediseñar el mecanismo.

El objeto de la presente invención se define en la reivindicación 1. La misma logra los objetivos prefijados, ya que se trata de una mano robótica antropomórfica que comprende: una palma y un metacarpo configurado para girar con respecto a dicha palma alrededor de un eje de rotación; cuatro dedos sustancialmente alineados y unidos a dicha palma y un dedo oponible a los mismos, comprendiendo cada uno de dichos dedos unidos a la palma al menos una falange proximal, una falange media y una falange distal, y comprendiendo dicho dedo oponible una falange proximal y una falange distal, estando las falanges proximales de cada uno de dichos dedos alineados articuladas con dicha palma en ejes de rotación respectivos y estando la falange proximal de dicho dedo oponible articulada con dicho metacarpo en ejes de rotación respectivos; un motor; una pluralidad de etapas diferenciales de engranajes cónicos que transmiten el movimiento desde dicho motor hasta dichos dedos alineados y dicho dedo oponible, caracterizada por que dicha pluralidad de etapas diferenciales comprende una primera etapa diferencial cuyo portasatélites es movido por dicho motor y cuyos engranajes planetarios mueven los portasatélites de una segunda y una quinta etapas diferenciales, estando realizados los engranajes planetarios de dicha segunda etapa diferencial en una sola pieza con los portasatélites de una tercera y una cuarta etapas diferenciales, estando configurados los engranajes planetarios de dichas tercera y cuarta etapas diferenciales de modo que se acoplan respectivamente con cuatro engranajes que tienen ejes coincidentes con dichos ejes de rotación respectivos entre las falanges proximales de dichos dedos alineados y dicha palma.

Se ha de precisar que la definición "sustancialmente alineados" se refiere a la posición de los cuatro dedos del índice al meñique, unidos a la palma, que en una mano humana, aunque no necesariamente paralelos entre sí, tienen todavía una posición de reposo en la que son paralelos y pueden realizar un movimiento angular limitado en el plano horizontal de la mano.

5 Descripción de los dibujos

La Figura 1 muestra el esquema cinemático del dispositivo descrito en el documento JP2001277175; la Figura 2 muestra una realización preferida del esquema cinemático del dispositivo según la presente invención; las Figuras 3-a y 3-b muestran en detalle el modo en el que se realiza preferiblemente el movimiento de aducción/abducción de los dedos; la Figura 4 muestra un esquema con la colocación de los grados de libertad previstos para los diversos componentes de la mano antropomórfica según la invención; las Figuras 5, 6 y 7 muestran vistas de un posible método de construcción de la mano según la invención.

La Figura 8 muestra el esquema cinemático de una segunda realización preferida del dispositivo según la invención. La Figura 9 muestra una realización conocida según el estado de la técnica, extraída de dicha publicación. La Figura 10 muestra, esquemáticamente, una etapa diferencial de engranajes cónicos con engranajes planetarios de diferentes diámetros. La Figura 11 muestra dos realizaciones de las tres etapas diferenciales que transmiten el movimiento a los dedos alineados, respectivamente con los ejes de rotación de los engranajes planetarios alineados y con los ejes de rotación de los engranajes planetarios inclinados entre sí. En las Figuras 12 y 13 se muestran dos vistas axonométricas de una realización posible con ejes inclinados. Las Figuras 14 y 15 muestran una realización preferida de los dedos utilizables con el dispositivo según la invención.

20 Descripción detallada

En la realización que se describe a continuación, el mecanismo tiene 20 grados de libertad, de los cuales 15 son controlables activa y bidireccionalmente por medio del único motor (100) previsto y 5 son pasivos y se pueden adaptar dentro de ciertos límites a la forma del objeto agarrado, pero no se pueden controlar de forma activa.

Debido a la complejidad del mecanismo, se considera útil introducir los criterios conforme a los cuales se ha asignado la nomenclatura.

Los elementos de las cinco etapas diferenciales de engranajes cónicos se indican con un número entre 0 y 4 (que identifica la etapa) seguido por el número 4 para el portasatélites, 5 para el engranaje planetario derecho y 6 para el engranaje planetario izquierdo. Así, por ejemplo, el portasatélites de la tercera etapa se indica con la referencia (24).

Las falanges se indican con referencias formadas por un número entre 1 y 5, que identifica el dedo, seguido por el número 1 para la falange proximal, 2 para la falange media, 3 para la falange distal y 0 para el metacarpo en el caso del pulgar. Por lo tanto, por ejemplo, la falange media del dedo anular se indica con la referencia (42), la falange proximal del pulgar con la referencia (11) y así sucesivamente.

Además, para cada dedo, la primera polea y la correa dentada que conecta la siguiente polea se indican con la referencia del dedo seguida por 10 y 11. De manera similar, la segunda polea y la correa dentada que conecta la siguiente polea se indican con la referencia del dedo seguida por 20 y 21, y seguido por 30 para la tercera polea.

Por ejemplo, la segunda polea del dedo corazón se indica con la referencia (320).

Además, para cada dedo, la referencia 40 indica el eje de rotación x (flexión/extensión) y la referencia 41 el freno que actúa sobre dicho eje de rotación, mientras que la referencia 60 indica el eje de rotación z (abducción/aducción). Por lo tanto, según el criterio, el eje x del dedo meñique se indica con (540), el freno respectivo con (541). El eje de rotación del metacarpo con respecto a la palma se indica con (80) y el freno que actúa sobre dicho eje de rotación se indica con (81).

Después de especificar los criterios de asignación de las referencias numéricas, ahora es posible describir una realización preferida del mecanismo, cuyo esquema cinemático se muestra en la Figura 2.

Se ha de precisar que se muestra una mano derecha, observada desde el dorso de la mano. Obviamente, el mismo mecanismo se puede realizar para una mano izquierda.

En la realización mostrada se reproduce el funcionamiento de una mano robótica antropomórfica, provista de cuatro dedos alineados, del índice al meñique, y con un dedo oponible a los mismos (pulgar). Todo el mecanismo es movido por el único motor (100), y el movimiento se distribuye a los dedos mediante una pluralidad de etapas diferenciales.

El portasatélites (04) de la primera etapa diferencial es movido directamente por el motor (100), y la primera etapa diferencial transmite el movimiento mediante el engranaje planetario derecho (05) a las etapas diferenciales que mueven los cuatro dedos alineados, y mediante el engranaje planetario izquierdo (06) a la etapa diferencial que mueve el pulgar. Para simplificar, la definición de engranaje planetario derecho e izquierdo se utiliza también para la primera y la quinta etapas, indicando como engranaje planetario izquierdo el de la parte inferior de la figura.

Se ha de observar que, en el esquema cinemático según la invención, el portasatélites (04) de la primera etapa diferencial es el único engranaje movido directamente por el motor, a diferencia de lo que ocurre en los mecanismos conocidos en el estado de la técnica, como por ejemplo el que se muestra en la Figura 9 - extraída de D1 - en donde el motor mueve directamente tanto el portasatélites P1 de la etapa 1 como el engranaje planetario S4R de la etapa 4.

5 Partiendo del análisis del movimiento de los cuatro dedos alineados, a partir del esquema cinemático se observa que el engranaje planetario derecho (05) de la primera etapa diferencial se acopla con el portasatélites (14) de la segunda etapa diferencial. La segunda etapa diferencial distribuye el movimiento a las dos etapas siguientes que realizan respectivamente el movimiento del índice y el dedo corazón y el movimiento del dedo anular y el meñique.

10 Por lo tanto, el movimiento es transmitido al portasatélites (14) por el engranaje planetario derecho (05) de la primera etapa diferencial, y después se subdivide entre las siguientes etapas diferenciales por medio de los engranajes planetarios (15, 16).

15 Para optimizar la fiabilidad y las dimensiones del mecanismo, el engranaje planetario izquierdo (16) de la segunda etapa y el portasatélites (24) de la tercera etapa están realizados en una sola pieza. Lo mismo ocurre con el engranaje planetario derecho (15) de la segunda etapa, que está realizado en una sola pieza con el portasatélites (34) de la cuarta etapa.

Se ha de señalar que el hecho de que los engranajes planetarios (15, 16) de la segunda etapa estén realizados en una sola pieza con los portasatélites (24, 34) de las siguientes etapas (en lugar de conectarlos por medio de un acoplamiento dentado, como ocurre por ejemplo en el documento JP2001277175) permite reducir las dimensiones del mecanismo y sobre todo su juego y fricciones.

20 Según otra realización, mostrada en la Figura 11, los ejes de rotación de los portasatélites (24, 34) de la tercera y la cuarta etapas se pueden montar inclinados con respecto a los árboles de los engranajes planetarios (16, 15) de la segunda etapa por interposición de una articulación cardán (161, 151) sobre árboles de conexión respectivos, lo que permite la transmisión de rotación entre árboles inclinados entre sí. No es necesario que los ángulos (α , β) de inclinación mutuos sean idénticos. De este modo, durante el movimiento de flexión, los dedos 2 (índice) y 3 (corazón) convergen hacia el dedo 4 (anular) y 5 (meñique), mejorando el parecido con la mano humana (antropomorfismo mejorado) y posibilitando el agarre de objetos delgados entre los dos dedos 3 y 4, que es una sujeción útil en muchas actividades de la vida diaria.

Se ha de tener en cuenta que, si bien en la Figura 11 se muestra una vista en el plano horizontal de la mano, la interposición de las articulaciones cardán (151, 16) puede permitir:

30 una inclinación relativa γ entre la segunda y la tercera etapas también en un plano normal al plano horizontal de la mano, que pasa por el centro de la articulación cardán (161) y está inclinado en un ángulo α con respecto al plano frontal de la mano;

35 también puede tener lugar una inclinación relativa δ entre la segunda y la cuarta etapas en un plano normal al plano horizontal de la mano, que pasa por el centro de la articulación cardán (151) y está inclinado en un ángulo α con respecto al plano frontal de la mano.

40 Si, por ejemplo, tal como se muestra en la Figura 12, la estructura de la palma está realizada en dos partes (01) y (02) articuladas por medio de una articulación cardán (151) a lo largo de un eje (600) perteneciente al plano horizontal de la mano, que pasa por el centro de la articulación cardán (151) y está inclinado en un ángulo β con respecto al plano medio de la mano, durante la acción de agarre el dedo anular y el meñique (4, 5), además de flexionarse, convergerán hacia el plano medio de la mano junto con la parte derecha de la palma, girando alrededor del eje (600) de rotación, oponiéndose al pulgar y mejorando así algunos tipos de agarre y el antropomorfismo de la prótesis.

El grado de libertad añadido de este modo (la articulación entre las partes derecha e izquierda de la palma) se puede gestionar tanto de forma activa por medio de un segundo accionador como de forma pasiva utilizando muelles.

45 Desde un punto de vista constructivo, tal como se muestra en las Figuras 7 y 8, las etapas diferenciales descritas hasta ahora son preferiblemente etapas diferenciales de engranajes cónicos. Como ya se ha mencionado, el movimiento se transmite a los dedos alineados por medio de la tercera y cuarta etapas diferenciales.

Antes de describir la transmisión de movimiento, es útil describir la realización preferida de los dedos individuales, al principio con referencia a los cuatro dedos alineados.

50 Cada dedo está formado por tres falanges, acopladas-articuladas entre sí alrededor de un eje de rotación relativo. La falange proximal del dedo 1 está articulada con el metacarpo (10) alrededor de un eje de rotación relativo, mientras que las falanges proximales de los dedos desde el índice hasta el anular y el metacarpo (10) están articuladas con la palma de la mano, alrededor de un eje de rotación relativo. La forma de los componentes (falanges, metacarpo y palma) es tal que la rotación permitida alrededor de todos los ejes de rotación respectivos se limita a valores similares a los fisiológicos de los componentes respectivos de la mano humana.

Sin que esto limite los objetivos de la invención, según una realización preferida los dedos alineados (del índice al meñique), con respecto a la configuración básica con dedos completamente extendidos, tienen la posibilidad de flexionar la falange proximal entre aproximadamente 90° y 110°, la falange media entre 90° y 135° y la falange distal entre 85 y 90°. En cambio, en lo que respecta al pulgar, siempre como una guía aproximada, la flexión de la falange proximal puede llegar a aproximadamente 70°, la flexión de la falange distal a aproximadamente 75°, mientras que el metacarpo puede tener una aducción de aproximadamente 90°.

Se ha de especificar que los movimientos y ángulos indicados son los que se pueden controlar de forma activa, tal como se explica en detalle a continuación. Preferiblemente y no de una forma limitativa, con el fin de mejorar aún más el parecido con la mano humana, el dispositivo según la presente invención se puede realizar con al menos una parte de los límites mecánicos no rígidos, con especial referencia a los límites relativos a la hiperextensión de los dedos. Para estos límites mecánicos se puede utilizar un material elástico, con una rigidez lo suficientemente alta como para bloquear la extensión de los dedos más allá de la posición básica cuando estos son accionados simplemente por el motor, y al mismo tiempo caracterizado por una flexibilidad suficiente cuando los dedos se tensionan de forma pasiva. Para explicar lo arriba descrito con un ejemplo se puede hacer referencia al movimiento de hiperextensión de los dedos de la mano humana, que no podemos controlar de forma activa, pero que ocurre por ejemplo cuando apoyamos los dedos sobre una mesa y doblamos la palma hacia adentro. Por lo tanto, los límites mecánicos en los nudillos tienen una rigidez que no es suficientemente alta para que éstos se deformen cuando el motor ejerce el par máximo, pero son deformables cuando los dedos de la prótesis se apoyan en una mesa y la palma se dobla hacia adentro.

Mientras se explican los movimientos de los dedos controlados de forma activa, para simplificar ahora se hará referencia al dedo índice, comenzando con la premisa de que, salvo las diferencias dimensionales obvias, los otros dedos se realizan de la misma manera. El dedo índice está articulado con la palma de la mano en el eje (240) de rotación entre la falange proximal (21) y la palma (00). La primera polea dentada (210) está situada en dicho eje, se acopla con el engranaje planetario izquierdo (26) de la tercera etapa diferencial y marcha en vacío con respecto a su eje de rotación. Se ha de tener en cuenta que, desde un punto de vista constructivo, las primeras poleas dentadas de cada dedo (140, 240, 340, 440 y 540) están convenientemente formadas por un engranaje realizado en una sola pieza con una polea dentada. El engranaje se acopla con el engranaje planetario respectivo de las etapas diferenciales de engranajes cónicos, mientras que la polea dentada está conectada con la siguiente polea por medio de una correa dentada.

La primera polea (210) está conectada por medio de la correa dentada (211) a la segunda polea dentada (220), que marcha en vacío con respecto al eje (250) de rotación relativo entre la falange proximal (21) y la falange media (22) del dedo índice. Esta última polea (220) también está conectada por medio de una segunda correa dentada (221) a la tercera polea dentada (230), que tiene el eje coincidente con el eje de rotación relativo entre la falange media (22) y la falange distal (23), y está realizada en una sola pieza con esta última.

Dado que las dos primeras poleas (210, 220) marchan en vacío con respecto a sus ejes relativos, el movimiento del engranaje planetario izquierdo (26) de la segunda etapa diferencial, omitiéndose las fricciones para simplificar, se transmite directamente a la polea (230), que está realizada en una sola pieza con la falange distal (23) del dedo índice, mientras que las falanges proximal (21) y media (22) no se mueven. Una vez que la falange distal (23) entra en contacto con el objeto que ha de ser agarrado o alcanza su límite mecánico, su movimiento se bloquea y la tercera polea (230), que está realizada en una sola pieza con la falange distal, ya no puede girar. Debido a la conexión por medio de la correa dentada (221), incluso la segunda polea (220) no puede girar con respecto a la falange media (22), por lo que esta última comienza a girar con respecto a la falange proximal. Cuando la falange media (22) también entra en contacto con el objeto agarrado o alcanza su límite mecánico, la primera polea (210) también se detiene debido a la conexión con la segunda polea (220) a través de la correa dentada (211). Por lo tanto, pasa a ser parte integral de la falange proximal (21), que rota forzosamente con respecto a la palma.

Cuando esta última también es bloqueada por el objeto agarrado (o alcanza su límite mecánico), el engranaje planetario izquierdo (26) de la segunda etapa diferencial se detiene, por lo que todo el par de accionamiento del portasatélites (24) se descarga sobre el engranaje planetario derecho (25), que transmite el movimiento al dedo corazón de forma totalmente similar.

Si el dedo corazón también se detiene (porque entra en contacto con el objeto agarrado o porque todas las rotaciones han alcanzado sus límites mecánicos), ni siquiera el engranaje planetario relativo (25) de la tercera etapa diferencial puede girar y, por lo tanto, el portasatélites (24) relativo también se detiene.

El dedo anular y el meñique funcionan de manera similar, y son movidos por la cuarta etapa diferencial, por medio de los engranajes planetarios izquierdo (36) y derecho (35), respectivamente.

Cuando los dedos del índice al meñique están en contacto con el objeto (o alcanzan sus límites mecánicos), el portasatélites (14) de la segunda etapa diferencial que les transmite el movimiento también se detiene forzosamente, deteniendo así también el engranaje planetario derecho (05) de la primera etapa diferencial con el que está acoplado. En este caso, el portasatélites (04) de la primera etapa descarga todo el par de accionamiento transmitido por el motor (100) sobre el engranaje planetario izquierdo (06), que controla el movimiento del pulgar.

El engranaje planetario izquierdo (06) de la primera etapa diferencial se acopla con el portasatélites (44) de la quinta etapa diferencial, que distribuye el par entre los movimientos de aducción/abducción (controlados por el engranaje planetario izquierdo 46) y de flexión/extensión (controlados por el engranaje planetario derecho 45) del pulgar.

5 El engranaje planetario izquierdo (46) está realizado en una sola pieza con el metacarpo (10), por lo que, cuando se acciona, todo el metacarpo (10) gira alrededor del eje (180), realizando el movimiento de aducción/abducción. Dicho eje (180) no ha de coincidir necesariamente con el eje de rotación de la etapa 0, como se muestra en la Figura 2, sino que puede tener una inclinación relativa con respecto a éste con el objetivo de hacer el manipulador más parecido a un mano humana. En este caso, claramente, el engranaje planetario 06 y el portasatélites 44 serán engranajes cónicos, apropiados para acoplarse con dicha inclinación relativa.

10 El engranaje planetario derecho (45) se acopla con el engranaje (47), que a su vez transmite el movimiento a la polea 110, permitiendo así la flexión/extensión del pulgar.

15 Cuando el metacarpo (10) y las falanges (11, 13) del pulgar también entran en contacto con el objeto agarrado (o alcanzan sus límites mecánicos), el motor (100) se detiene forzosamente. Controlando la corriente del motor se determina el par máximo ejercido y, de este modo, también el par máximo transmitido a los dedos, que determina la fuerza de agarre. Además, es posible llevar a cabo un control de la velocidad del motor con codificador (200) para controlar la velocidad con la que se realiza el agarre.

Por lo tanto, algunas ventajas del mecanismo recién descrito son claras: mediante el control de un solo motor, el usuario de la prótesis solo necesita un movimiento para abrir la mano y otro para cerrarla, independientemente de la forma del objeto que deba ser agarrado.

20 Además, el control de la fuerza de agarre se puede llevar a cabo controlando la corriente del motor, y esto se puede hacer fácilmente de diversos modos.

Por ejemplo, la corriente se puede controlar en función del número de señales leídas por los electrodos de control en un período de tiempo predeterminado (por ejemplo: 1 señal en 1 segundo para un agarre débil, 2 señales en 1 segundo para un agarre de fuerza media, 3 señales en 1 segundo para un agarre fuerte).

25 Como alternativa, la corriente absorbida por el motor (y por lo tanto su par ejercido, que determina la fuerza de agarre) se puede controlar en función de la intensidad de las señales detectadas por los electrodos, poniéndola en correlación de forma directamente proporcional o según a otro principio de calibración por definir.

30 La compacidad del mecanismo permite posicionar también el tablero (300) de control dentro del manipulador, con lo que éste adquiere un mayor grado de modularidad. Esto es particularmente útil cuando lo utilizan personas con diferentes niveles de amputación: por ejemplo, se puede añadir un módulo de "muñeca" y un módulo de "antebrazo" al módulo de manipulador en caso de una amputación transradial, mientras que en caso de amputación por debajo del muñeca se puede utilizar el módulo manipulador solo.

35 En resumen, el par motor se divide en primer lugar (a partir de la primera etapa diferencial) entre el pulgar y los otros cuatro dedos. Esto permite que, en estado estacionario, el par ejercido por el pulgar sea igual a la suma de los pares ejercidos por los otros dedos, lo que es una condición óptima para realizar el agarre que requiere pulgar en oposición a los otros dedos. El par transmitido al pulgar se subdivide (a partir de la quinta etapa diferencial) entre los movimientos de aducción/abducción y flexión/extensión, mientras que el par transmitido a los otros cuatro dedos se subdivide en primer lugar (a partir de la segunda etapa diferencial) entre el índice y el dedo corazón, por un lado, y entre el dedo anular y el meñique, por otro lado, y finalmente (a partir de la tercera y cuarta etapas diferenciales) se distribuye entre los dedos individuales. La distribución automática del par de acuerdo con el esquema cinemático recién descrito permite que, incluso utilizando una única instrucción (1 grado de accionamiento), los dedos se adapten automáticamente a la forma del objeto agarrado, desarrollando siempre el agarre más estable.

45 A partir de la descripción del mecanismo que se acaba de analizar, también queda claro que el funcionamiento es totalmente similar tanto para los movimientos de cierre como de apertura de la mano. De hecho, todas las conexiones utilizadas son bidireccionales (engranajes y correas dentadas) y no se utilizan elementos unidireccionales (tendones, varillas tensoras...), que además tienen el límite de que no pueden ejercer grandes fuerzas y que tienen mayores fricciones internas en comparación con los elementos engranados.

50 Otra ventaja de utilizar etapas diferenciales de engranajes cónicos consiste en la independencia de las fuerzas ejercidas por los engranajes planetarios con respecto a su posición cinemática. Las etapas diferenciales de engranajes cónicos son globalmente isotrópicas de fuerza, por lo que, independientemente de la posición cinemática del dedo, ejercen una fuerza constante, lo que garantiza un rendimiento constante en todo el espacio de trabajo. Dicha ventaja se extiende al interior de los dedos mediante el uso de una transmisión por correa dentada, caracterizada por que las fuerzas transmitidas son independientes de la distancia entre ejes de las poleas y la inclinación relativa de las falanges.

55 No ocurre lo mismo con otros tipos de transmisiones, tales como las basadas en cables, en las que las fuerzas ejercidas muestran un patrón variable en función de la inclinación relativa de las falanges.

Después de comprender el concepto de distribución del movimiento explicado en el anterior esquema cinemático, más abajo se describen algunas medidas constructivas útiles para optimizar el funcionamiento del mecanismo.

Preferiblemente, en todos los ejes de rotación de las falanges y en el eje de rotación del metacarpo están previstos muelles que ejercen un par elástico entre los diversos elementos articulados, preferiblemente en la dirección de cierre de la mano.

La presencia de muelles, aunque no es indispensable, permite obtener una serie de ventajas. En primer lugar, los muelles permiten definir la posición inicial relativa entre diferentes dedos y entre diferentes falanges de un mismo dedo. Esto es especialmente útil en el montaje del dispositivo: sería complejo fijar la posición inicial del motor, correspondiente a la mano completamente cerrada, manteniendo todas las articulaciones en la posición correcta sin la aportación de los muelles que lo hacen automáticamente.

Evidentemente, en caso de muelles montados en la dirección de la apertura de la mano, será posible montar el dispositivo en la posición inicial de la mano completamente abierta.

Además, debido al juego inevitablemente presente en el tren de engranajes, si no hubiera muelles, el motor, antes de mover los dedos, rotaría en vacío solo para restaurar dicho juego. En cambio, en presencia de muelles, los engranajes siempre son colocados por los muelles en una posición que implica un juego nulo.

Además, la relación entre las rigideces de los muelles utilizados en los diferentes ejes de rotación dentro de cada dedo individual determina el orden de cierre de las falanges. En particular, para llevar a cabo la sujeción correcta del objeto que ha de ser agarrado, es importante que la primera falange en rotar sea la proximal, luego la media y solo al final la distal.

Como ya se ha mencionado, las falanges proximales están articuladas alrededor de un eje de rotación relativo con respecto a la palma. Evidentemente, desde un punto de vista constructivo, en dicho eje está presente un árbol.

Preferiblemente, las falanges proximales no están directamente en contacto con dicho árbol, sino que entre la falange y el árbol está interpuesto un cilindro coaxial con respecto al árbol (240), mostrado en la Figura 3 con referencia al dedo índice como ejemplo, realizado en material elástico, que permite un cierto grado de aducción/abducción de los dedos.

Es importante señalar que este cilindro elástico (290) no se extiende ni en la palma (o en el metacarpo en el caso del pulgar) ni en el área central del árbol, por lo que la palma (o el metacarpo en el caso del pulgar) y el engranaje intermedio relativo a la falange proximal están en contacto directo con el árbol. Cuando se produce la aducción de los dedos, como se muestra en la Figura 3b, la falange proximal (21) (junto con todas las demás falanges y las respectivas poleas) gira, mientras que tanto el engranaje (21) relativo a la falange proximal como la palma (00) se quedarán quietos. Por lo tanto, el engranaje (210) de la falange proximal y el engranaje planetario (26) relativo se acoplarán sin problemas, ya que sus ejes estarán siempre paralelos y a una distancia fija, por lo que siempre encajarán conforme a lo proyectado.

Pero se produce una inclinación entre el engranaje (210) relativo a la falange proximal y el engranaje (220) relativo a la falange media. Sin embargo, éstos están conectados por medio de una correa dentada, por lo que considerando inclinaciones máximas de aproximadamente 10°, su acoplamiento no se verá comprometido.

Al aplicar esta medida, el experto en la materia obviamente utilizará todas aquellas precauciones de diseño que permitan excluir la interferencia entre los distintos componentes, como por ejemplo una cierta previsión de holgura en dirección axial con respecto al eje (240) entre el engranaje (210) y la falange (21).

Además se ha de recalcar que los límites mecánicos elásticos, los cilindros elásticos que garantizan la presencia de grados pasivos de libertad, los muelles previstos en el interior de los dedos y anteriormente descritos, así como los eventuales muelles que garantizan el grado adicional de libertad de la rotación relativa entre la parte izquierda (01) y la parte derecha (02) de la palma, tienen como objetivo amortiguar los impactos no deseados del dispositivo, aumentando así su elasticidad y creando una "zona de amortiguación" entre los dedos y la palma que garantiza una vida más larga para los componentes utilizados.

Según otra realización preferida, la mano antropomórfica subaccionada, objeto de la presente invención, se puede realizar de modo que cada dedo se pueda controlar individualmente. De hecho, como se ha explicado, el movimiento del motor (100) se transmite a todos los dedos hasta que los mismos son bloqueados por un objeto que ha de ser agarrado o por sus límites mecánicos, y no es posible controlar cada dedo individualmente.

Sin embargo, dado que, como ya se ha explicado, para detener cada dedo (tanto en extensión como en flexión) es suficiente que el mismo entre en contacto con un obstáculo que impida la rotación de la falange proximal con respecto a la palma (o con respecto al metacarpo en el caso del pulgar), mediante la introducción de un freno (141, 241, 341, 441, 541) en cada uno de dichos ejes se podrá simular la presencia de un obstáculo o un límite mecánico, y bloquear la flexión/extensión de ese dedo.

En particular, el freno debe bloquear en cada dedo la primera polea intermedia, o equivalentemente el engranaje planetario que transmite el movimiento al dedo.

Dado que el pulgar tiene tres grados de libertad activos con respecto a la palma de la mano (dos de flexión/ extensión y uno de aducción/abducción, además de otro grado pasivo de libertad de aducción/abducción), para el pulgar se requiere un segundo freno (181) con el fin de bloquear también la abducción/aducción del pulgar (del metacarpo con respecto a la palma).

A modo de ejemplo, si partiendo de la configuración de mano abierta se han de cerrar el cuarto y el quinto dedos (anular y meñique), basta con accionar los frenos (141, 181, 241, 341) relativos a los otros dedos y accionar el motor (100) en el sentido de giro que aplica un movimiento de cierre a la mano, con lo que se obtiene la configuración deseada.

Según otra variante de realización, los dedos se pueden realizar tal como se muestra en las Figuras 14 y 15, en las que se muestran vistas en despiece ordenado de una realización de uno de los dedos del dispositivo según la invención.

Como se muestra en la Figura 14, y entendiendo el mecanismo ya descrito, el dedo se puede realizar utilizando tres componentes (701, 702, 703) articulados entre sí en ejes correspondientes al eje de rotación relativo de las falanges. Estos componentes, preferiblemente realizados en aluminio, acero, titanio o en material plástico provisto de una resistencia estructural adecuada, se pueden revestir aplicando superficies de varios materiales más blandos (7011, 7012, 7013, 7014, 7021, 7022, 7023, 7024, 7031), como por ejemplo silicona o caucho, de modo que se mejore el parecido de la mano según la invención con una mano humana en términos de funcionalidades, como por ejemplo una mayor fricción entre los dedos y los objetos agarrados y una mejor adaptación a su forma y dimensiones.

En las Figuras 14 y 15 se muestra la fijación de dichas superficies a la estructura de las falanges por medio de acoplamiento con tornillos y orificios roscados, pero también son posibles otros tipos de acoplamientos, como por ejemplo acoplamientos mediante sujeciones o adhesivos adecuados. Dichos elementos constituyen también los límites mecánicos de rotación relativa entre falanges, de modo que, para modificar los ángulos mínimo y máximo de rotación relativa, basta con modificar la forma de dichas superficies sin rediseñar o desmontar, una vez montados, los elementos (701, 702, 703).

En las Figuras 14 y 15 también se muestra la posición de los muelles (704, 705, 706) y de los cilindros elásticos utilizados para obtener la aducción/abducción pasiva de los dedos (707), cuyo funcionamiento ya se ha descrito.

Los tornillos de apriete de los elementos de revestimiento presentan un asiento donde se instalan los muelles, por lo que enroscando o desenroscando dichos tornillos es posible realizar una carga previa precisa de los muelles. Los elementos de revestimiento también se pueden utilizar para contener sensores útiles para el funcionamiento de la prótesis o para proporcionar una retroalimentación al usuario.

Según otra variante de realización, el dispositivo se puede realizar utilizando engranajes planetarios con diámetros diferentes dentro de la misma etapa diferencial. En la Figura 10 se muestra esquemáticamente el uso de engranajes planetarios con diámetros diferentes en una etapa diferencial de engranajes cónicos.

Desde el punto de vista constructivo, el uso de engranajes planetarios con diámetros diferentes implica la necesidad de inclinar los ejes de los engranajes, pero permite distribuir el par de manera diferente entre los engranajes planetarios y, por lo tanto, entre los dedos accionados por los mismos, aumentando así el grado de parecido con la mano humana. Preferiblemente, los diámetros diferentes de los engranajes planetarios se pueden configurar de manera que el par transmitido a los cuatro dedos alineados se subdivide aproximadamente según lo que se indica a continuación: 25% para los dedos 2 y 4, 35% para el dedo 3, 15% para el dedo 5.

En la figura 8 se muestra otra variante del mecanismo, en la que la mano subaccionada según la invención está realizada con el eje de rotación de los engranajes planetarios (05, 06) de la etapa cero ortogonal a la dirección de los cuatro dedos alineados cuando están en posición extendida.

Esta dirección del eje de rotación de los engranajes planetarios (05, 06) de la etapa cero implica algunas ventajas constructivas: en primer lugar, permite obtener el acoplamiento entre el engranaje planetario (05) de la etapa cero y el portasatélites (14) de la etapa 1 por medio de engranajes rectos, en lugar de engranajes cónicos o engranajes frontales, con todas las simplificaciones técnicas que de ello se derivan (menores dimensiones, mayor precisión y sencillez de los componentes constructivos y de la realización). Además, esta disposición de la etapa diferencial cero permite realizar el acoplamiento entre motor y diferencial 0 mediante el uso de un reductor de engranaje de tornillo sin fin, difícil de lograr en otras configuraciones debido a restricciones dimensionales. Además de ser una forma extremadamente compacta para llevar a cabo la reducción de velocidad del motor/aumento de par, también es un mecanismo no retroactivo: al actuar sobre los dedos, éstos no se pueden volver a abrir porque es imposible transmitir movimiento desde el portasatélites de la etapa cero al motor y, por lo tanto, una vez que se alcanza el cierre completo de los dedos, es posible apagar el motor (ahorrando así autonomía de la batería) ya que el agarre se mantiene estable porque los dedos no se pueden volver a abrir pasivamente, a menos que se utilicen dispositivos de seguridad en caso de peligro. Otra ventaja que se puede obtener consiste en que el eje de rotación del metacarpo (180) coincide con el

eje de rotación de los engranajes planetarios (45, 46) de la etapa diferencial 4, con claras ventajas cinemáticas, dinámicas y dimensionales.

Es evidente que el esquema cinemático mostrado es un ejemplo y no limita los objetivos de la invención. Se ha de especificar que, a modo de ejemplo, la dimensión de la extremidad se puede modificar cambiando, en función de las necesidades, el módulo de engranajes, el número de dientes de las poleas o la longitud de las correas dentadas, mientras que la relación de velocidad entre el pulgar y los otros dedos (en ausencia de cargas externas, ya que bajo carga la configuración asumida por la mano está determinada por las fuerzas intercambiadas con el objeto agarrado) se puede variar cambiando la relación de transmisión entre la primera y la segunda etapas diferenciales de engranajes cónicos (engranajes 05 y 14) o entre la primera y la quinta (engranajes 06 y 44). En cambio, la relación de velocidad entre la aducción y la flexión del pulgar se puede modificar cambiando la relación de transmisión entre el engranaje 45 y el engranaje (47) perpendicular a éste.

En la Figura 4 se muestra un esquema de los grados de libertad de la mano. Los nudos con la indicación "1" se refieren a un grado de libertad controlable de forma activa. Los nudos que presentan la indicación "1 + 1" se refieren a los nudos en los que un grado de libertad es controlable de forma activa (extensión/flexión), mientras que el otro es pasivo y solo se puede adaptar a la forma del objeto agarrado (aducción/abducción).

Según otra realización (no mostrada en la figura), el número de grados de libertad de la mano antropomórfica subaccionada según la invención se puede aumentar añadiendo otra pequeña falange al pulgar. Por lo tanto, en lo que respecta al movimiento de flexión/extensión, el pulgar se realizaría y se accionaría de forma totalmente idéntica a la descrita para los otros dedos.

REIVINDICACIONES

1. Mano robótica antropomórfica, que comprende:
 - una palma (00) y un metacarpo (10) configurados para girar con respecto a dicha palma alrededor de un eje (180) de rotación;
 - cuatro dedos sustancialmente alineados y unidos a dicha palma y un dedo oponible a los mismos, comprendiendo cada uno de dichos dedos alineados al menos una falange proximal (21, 31, 41, 51), una falange media (22, 32, 42, 52) y una falange distal (23, 33, 43, 53), y comprendiendo dicho dedo oponible una falange proximal (11) y una falange distal (13), estando las falanges proximales (21, 31, 41, 51) de cada uno de dichos dedos alineados articuladas con dicha palma (00) en ejes (240, 340, 440, 540) de rotación respectivos y estando la falange proximal (11) de dicho dedo oponible articulada con dicho metacarpo (10) en un eje (140) de rotación respectivo;
 - un motor (100);
 - una pluralidad de etapas diferenciales de engranajes cónicos que transmiten el movimiento desde dicho motor (100) a dichos dedos alineados y a dicho dedo oponible;
- caracterizada por que
dicho motor (100) está configurado para accionar directamente sólo el portasatélites de una primera etapa diferencial;
dicha pluralidad de etapas diferenciales comprende una primera etapa diferencial cuyo portasatélites (04) es movido por dicho motor (100) y cuyos engranajes planetarios (05, 06) mueven los portasatélites de una segunda (14) y una quinta (44) etapas diferenciales;
estando realizados los engranajes planetarios (15, 16) de dicha segunda etapa diferencial en una sola pieza con los portasatélites (24, 34) de una tercera y una cuarta etapas diferenciales;
estando configurados los engranajes planetarios (26, 25, 36, 35) de dichas tercera y cuarta etapas diferenciales de modo que se acoplan respectivamente con cuatro engranajes (210, 310, 410, 510) que tienen ejes coincidentes con dichos ejes (240, 340, 440, 540) de rotación respectivos entre las falanges proximales (21, 31, 41, 51) de dichos dedos alineados y dicha palma (00);
y estando configurados los engranajes planetarios (45, 46) de dicha quinta etapa diferencial para hacer girar respectivamente dicho metacarpo (10) y un engranaje (110), que tiene un eje coincidente con dicho eje (140) de rotación respectivo entre la falange proximal (11) de dicho dedo oponible y dicho metacarpo (10).
2. Mano robótica antropomórfica según reivindicación 1, caracterizada por que
 - dichas etapas diferenciales son diferenciales de engranajes cónicos;
 - el eje de rotación de los engranajes planetarios (05, 06) de la etapa diferencial movidos por dicho motor (100) es paralelo a la dirección que adoptan los cuatro dedos alineados en posición extendida;
 - el acoplamiento entre el engranaje planetario (05) de la primera etapa y el portasatélites (14) de la segunda etapa se obtiene por medio de engranajes rectos;
 - el acoplamiento entre motor y portasatélites del diferencial de la primera etapa se realiza utilizando un reductor de engranaje de tornillo sin fin.
3. Mano robótica antropomórfica según reivindicación 1 o 2, caracterizada por que, en el interior de al menos una de dichas etapas diferenciales de engranajes cónicos, los engranajes planetarios presentan diámetros diferentes, de manera que el par de apriete no se distribuye uniformemente entre dichos dedos alineados.
4. Mano robótica antropomórfica según reivindicación 3, caracterizada por que dichos diámetros de dichos engranajes planetarios están configurados de manera que el par transmitido a los cuatro dedos alineados se subdivide de la siguiente manera: 25% para los dedos índice y anular, 35% para dedo corazón, 15% para el dedo meñique.
5. Mano robótica antropomórfica según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizada por que los ejes de rotación de los portasatélites (24, 34) de la tercera y la cuarta etapas se pueden montar inclinados con respecto a los árboles de los engranajes planetarios (16, 15) de la segunda etapa mediante la interposición de juntas cardán (161, 151) en árboles de conexión respectivos, que permiten la transmisión de rotación entre árboles inclinados entre sí.
6. Mano robótica antropomórfica según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizada por que cada uno de dichos dedos alineados comprende una primera (210, 310, 410, 510), una segunda (220, 320, 420,

- 520) y una tercera (230, 330, 430, 530) poleas dentadas, con ejes de rotación respectivamente coincidentes con el eje de rotación relativo entre dichas falanges proximales (21, 31, 41, 51) y dicha palma (00), entre dichas falanges medias (22, 32, 42, 52) y dichas falanges proximales (21, 31, 41, 51) y entre dichas falanges distales (23, 33, 43, 53) y dichas falanges medias (22, 32, 42, 52), estando dichas primera (210, 310, 410, 510) y segunda (220, 320, 420, 520) poleas dentadas en marcha en vacío con respecto a sus ejes de rotación relativos y conectadas entre sí por medio de una correa dentada (211, 311, 411, 511), estando dichas terceras poleas dentadas (230, 330, 430, 530) en cada caso realizadas en una sola pieza con su falange distal (23, 33, 43, 53) respectiva y conectadas mediante correas dentadas (221, 321, 421, 521) a dichos segundos engranajes (220, 320, 420, 520).
7. Mano robótica antropomórfica según reivindicación 6, caracterizada por que dichas primeras poleas dentadas (210, 310, 410, 510) de cada dedo están formadas convenientemente por un engranaje realizado en una sola pieza con una polea dentada.
8. Mano robótica antropomórfica según reivindicación 6 o 7, caracterizada por que la forma de dichas falanges (11, 12, 21, 22, 23, 31, 32, 33, 41, 42, 43, 51, 52, 53) de dicho metacarpo (10) y dicha palma (00) son tales que la rotación permitida alrededor de todos los ejes de rotación respectivos está limitada a valores similares a los valores fisiológicos de los componentes respectivos de la mano humana, y preferiblemente entre 90° y 110° en el caso de la falange proximal, entre 90° y 135° en el caso de la falange media y entre 85° y 90° en el caso de la falange distal.
9. Mano robótica antropomórfica según las reivindicaciones 6, 7 u 8, caracterizada por que la flexión de la falange proximal (11) de dicho dedo oponible puede llegar a aproximadamente 70°, la flexión de la falange distal (13) de dicho dedo oponible puede llegar a aproximadamente 75°, y dicho metacarpo (10) puede girar aproximadamente 90°.
10. Mano robótica antropomórfica según reivindicación 8 o 9, caracterizada por que al menos una parte de los límites mecánicos que definen los ángulos de rotación entre los diversos componentes se realiza utilizando material elástico.
11. Mano robótica antropomórfica según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizada por que en todos los ejes de rotación relativos entre falanges (140, 160, 240, 250, 260, 340, 350, 360, 440, 450, 460, 540, 550, 560) y en el eje de rotación (180) del metacarpo (10) están previstos muelles que ejercen un par elástico entre los diversos elementos articulados, preferiblemente en el sentido de cierre de la mano.
12. Mano robótica antropomórfica según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además un freno (141, 241, 341, 441, 551) que se puede accionar independientemente en correspondencia con cada uno de dichos ejes de rotación relativos entre dichas falanges proximales y dicha palma, y entre dicho metacarpo y dicha palma.
13. Mano robótica antropomórfica según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizada por que entre dichas falanges proximales y el árbol en el que están articuladas está interpuesto un cilindro coaxial a dicho árbol (240), realizado en material elástico, que permite un cierto grado de aducción/abducción de los dedos.

【図1】

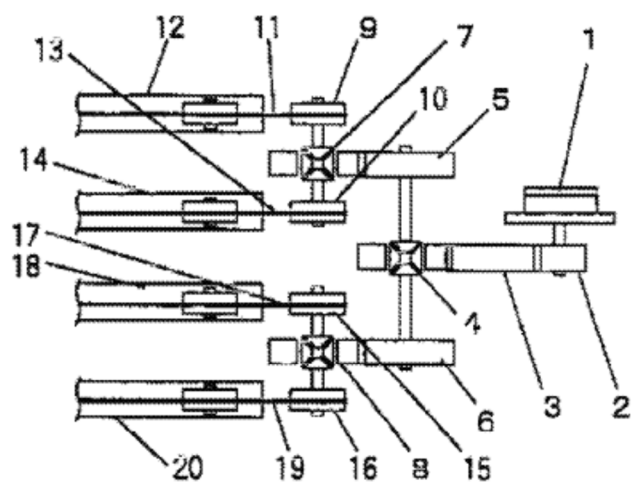


Fig. 1 – Técnica anterior

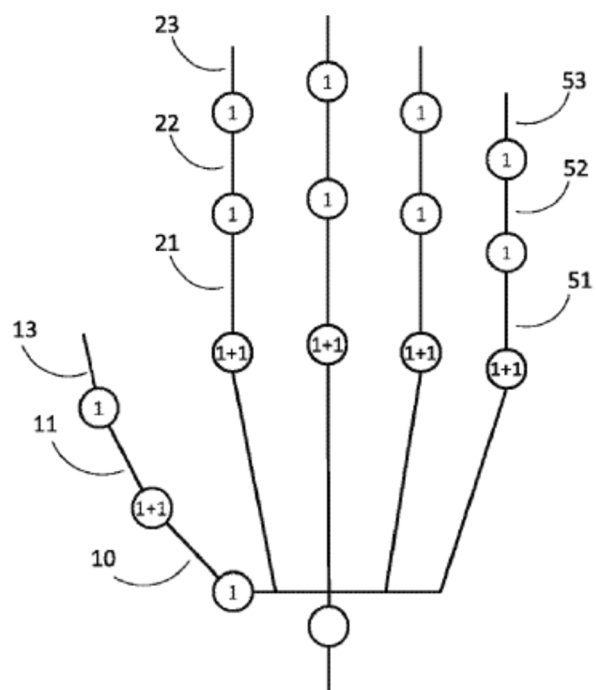


Fig. 4

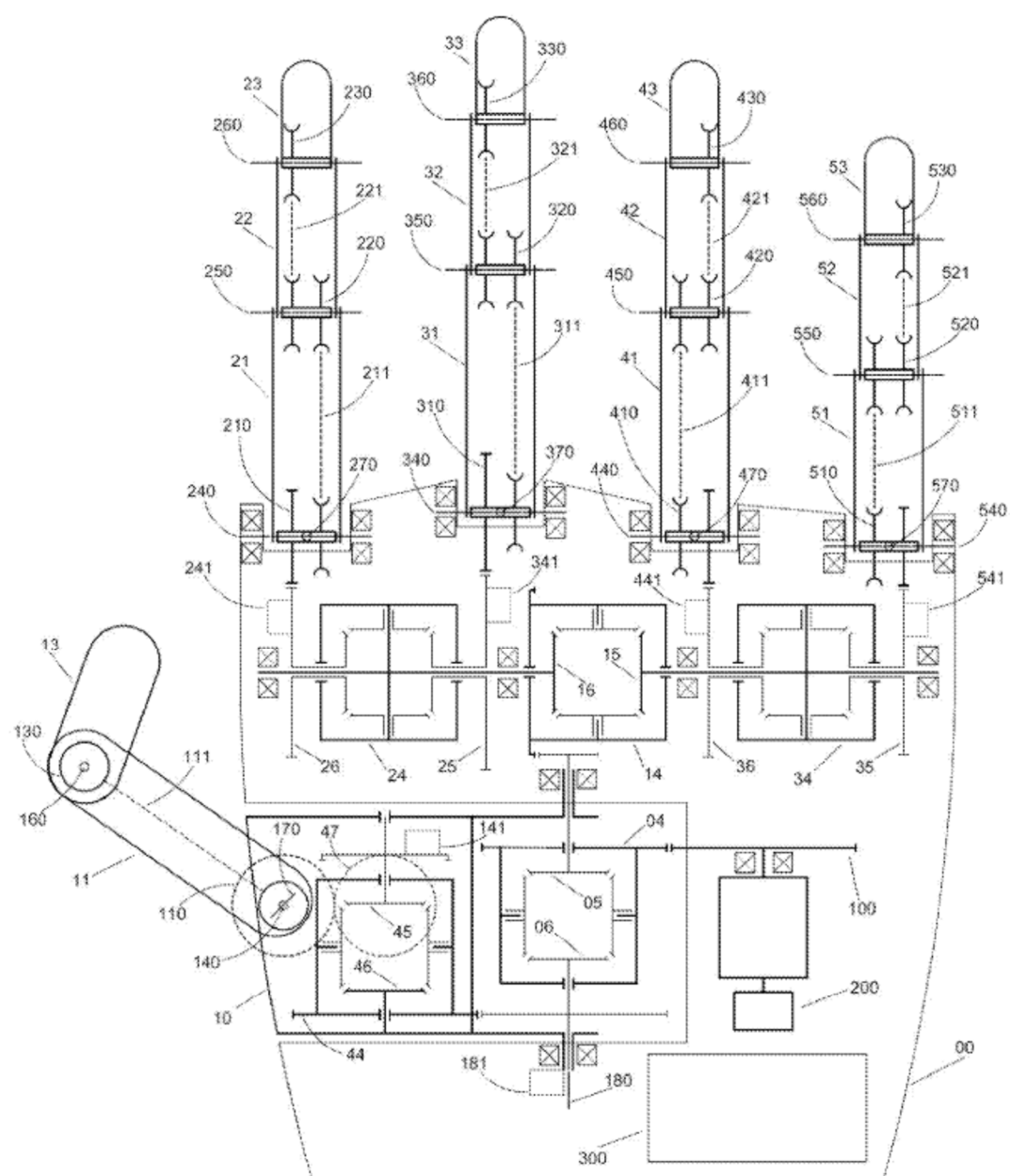


Fig. 2

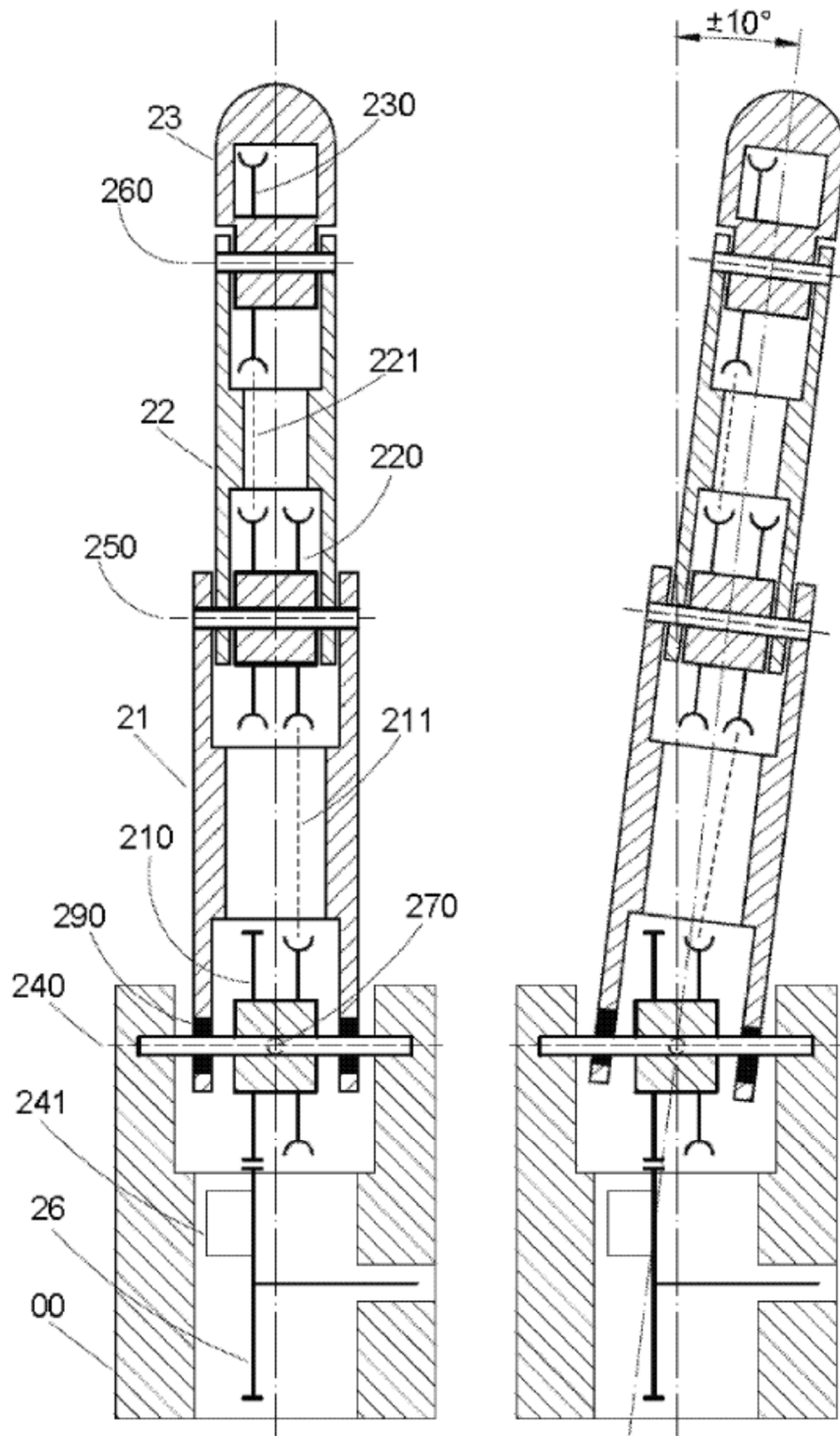


Fig. 3-a

Fig. 3-b

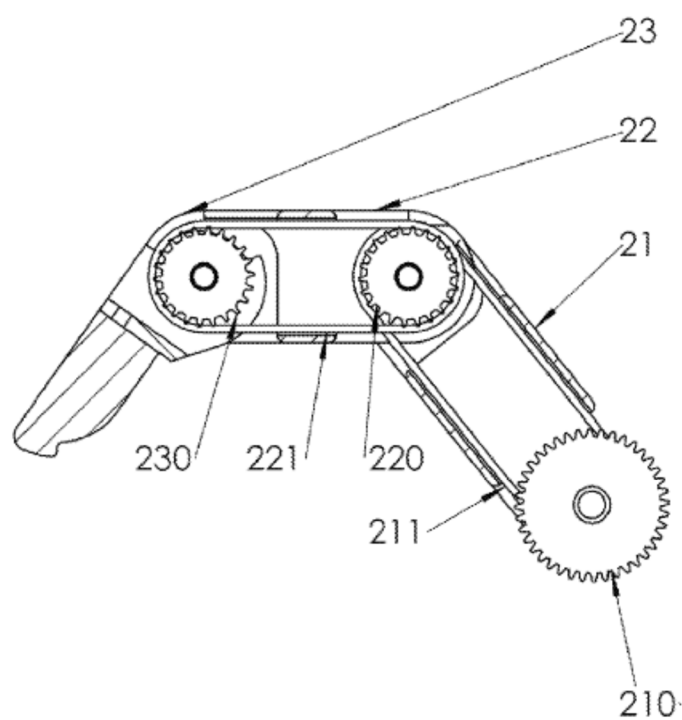


Fig. 5

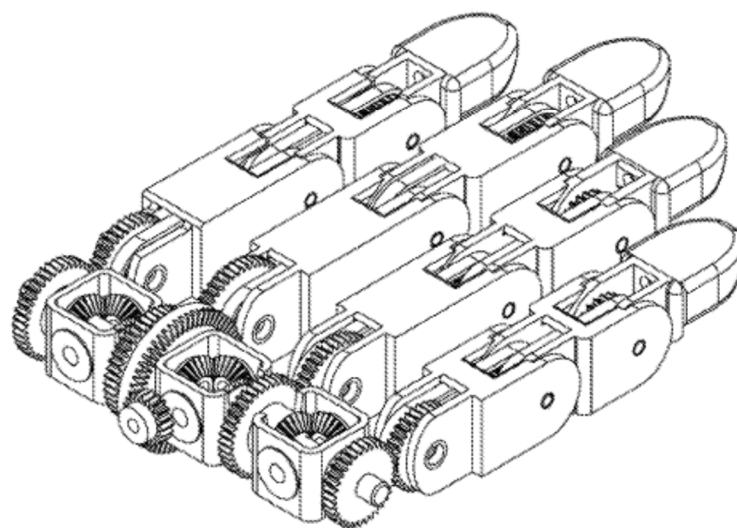


Fig. 7

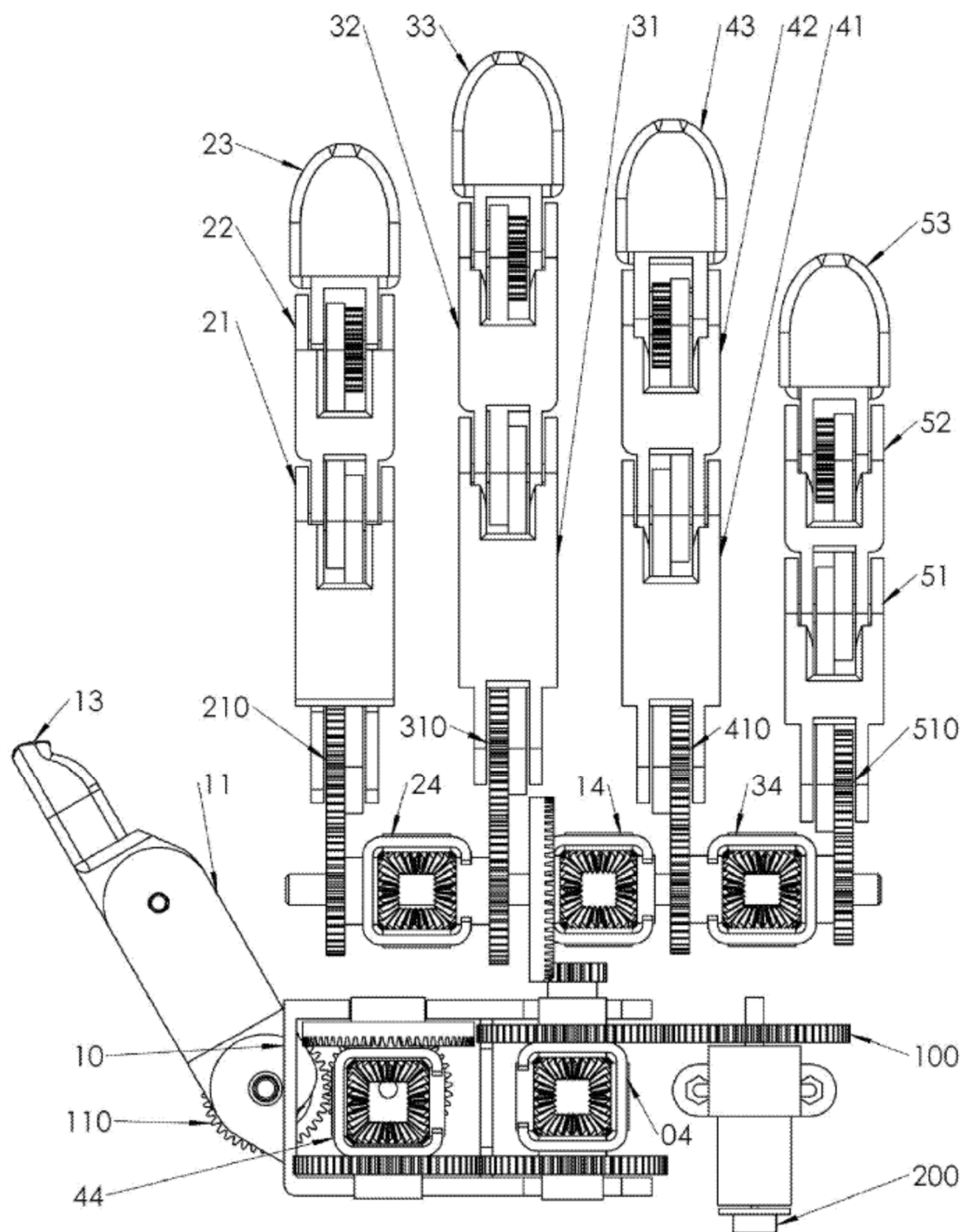


Fig. 6

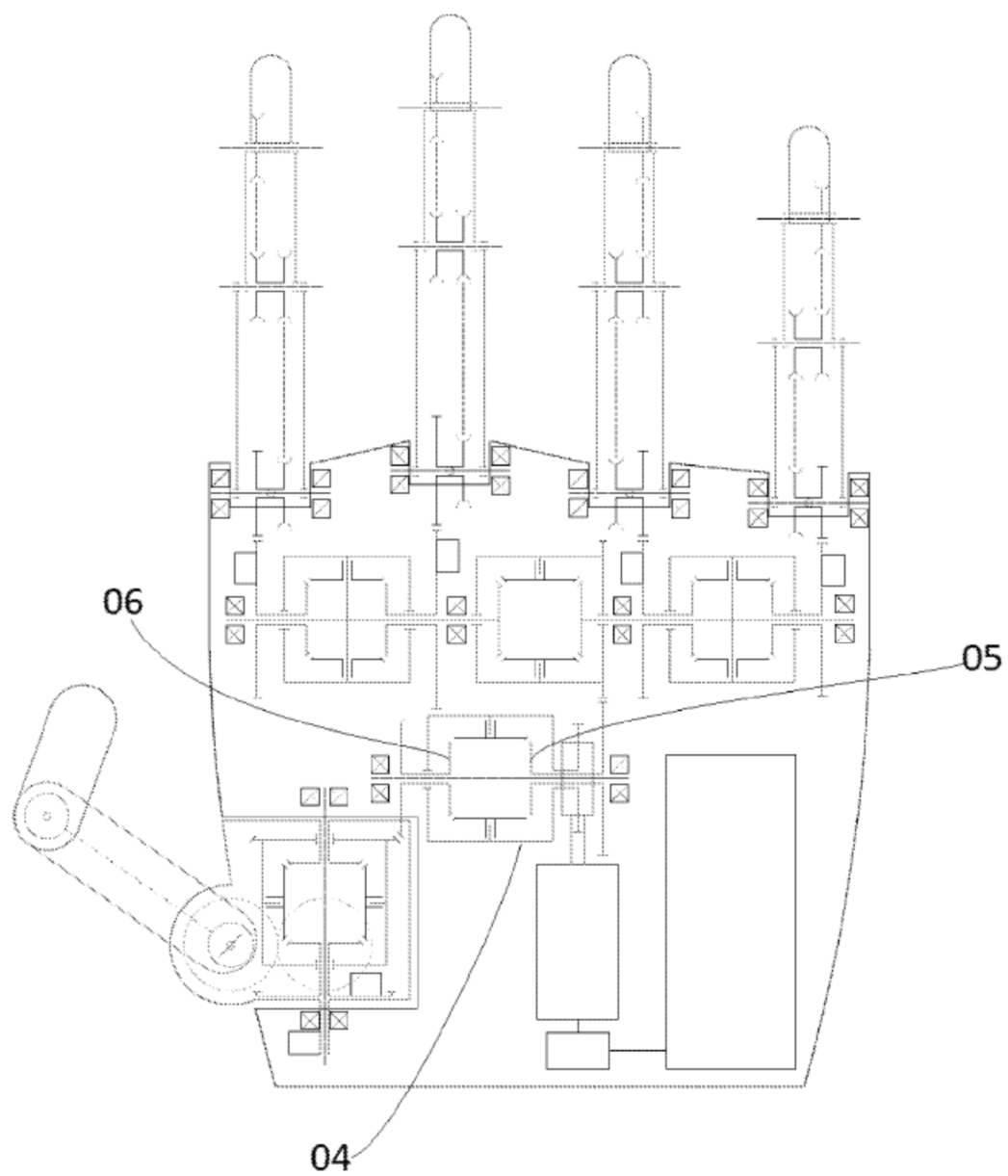


Fig. 8

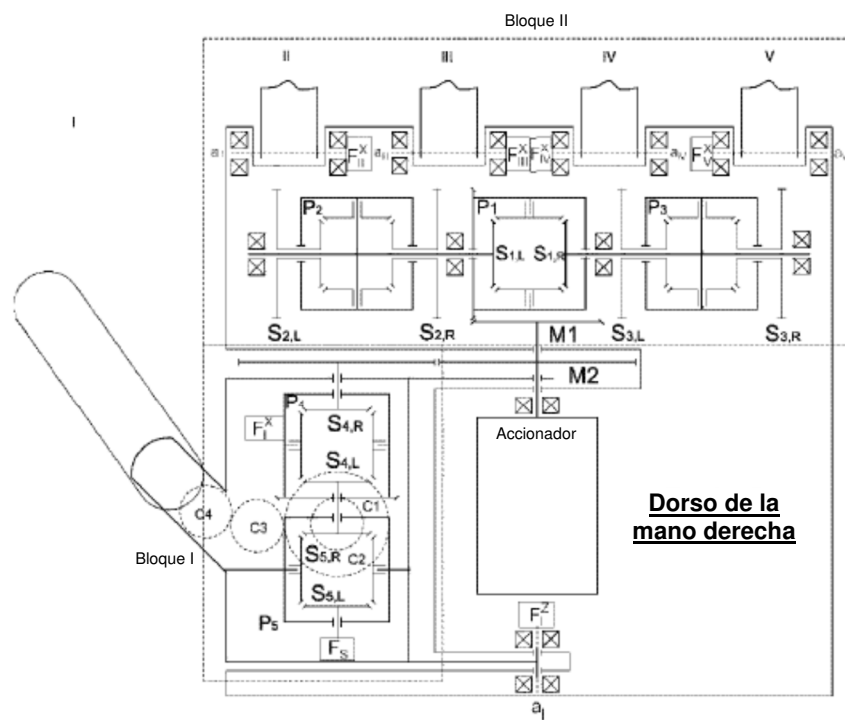


Fig. 9 - TÉCNICA ANTERIOR

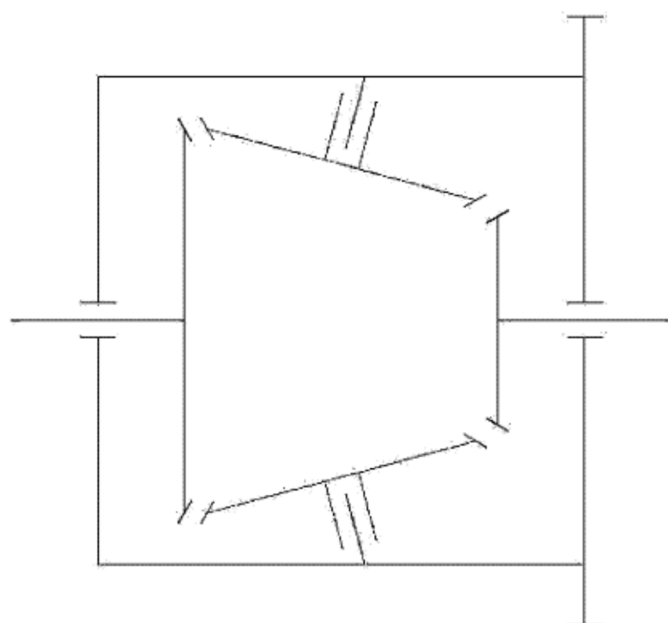


Fig. 10

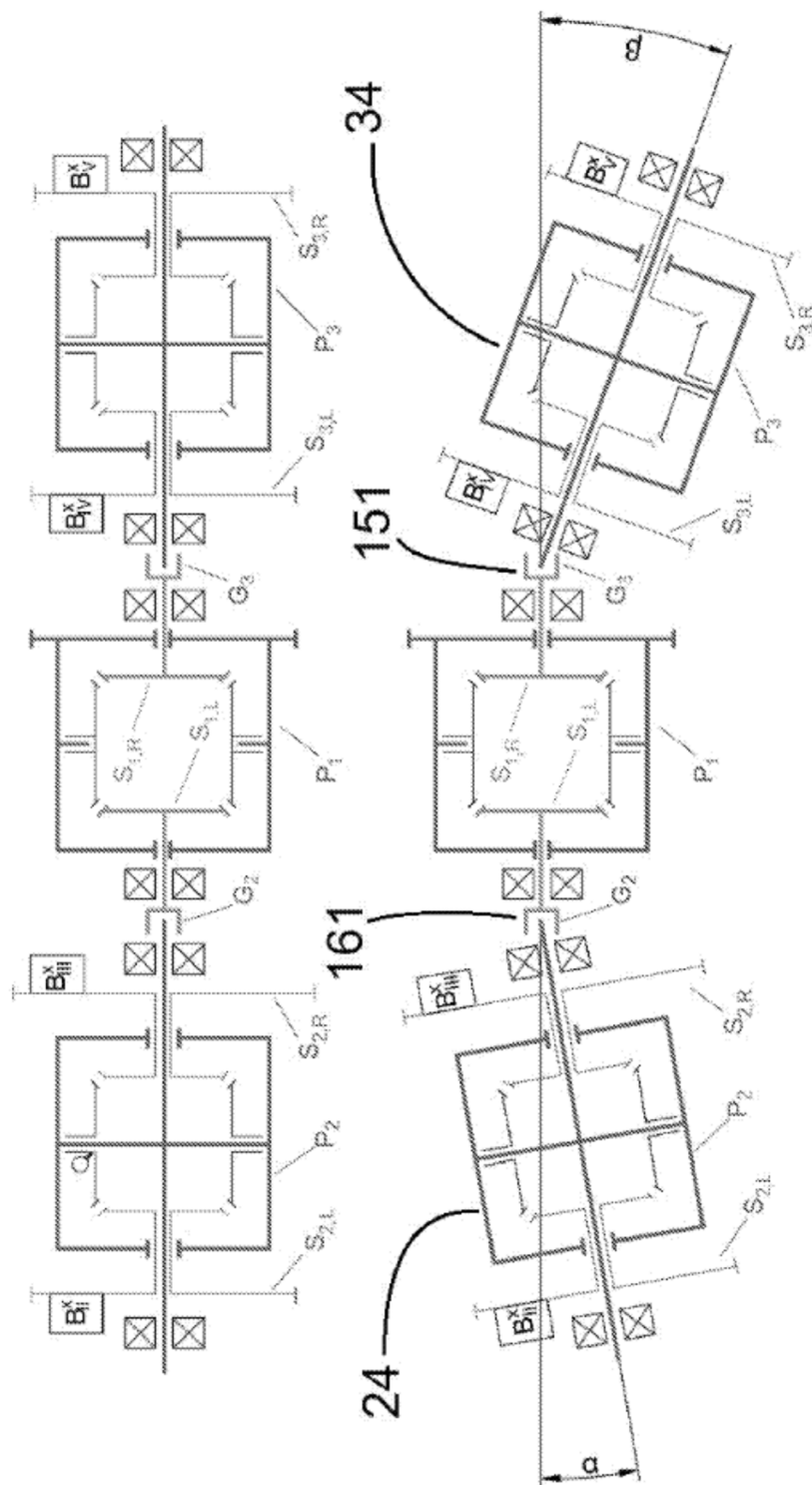


Fig. 11

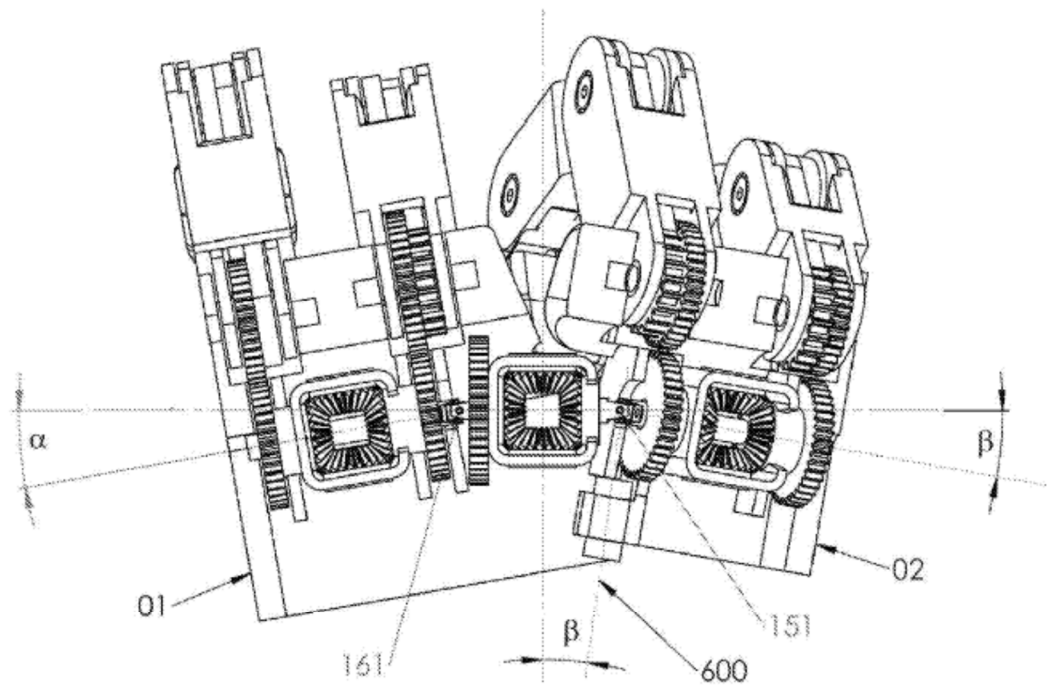


Fig. 12

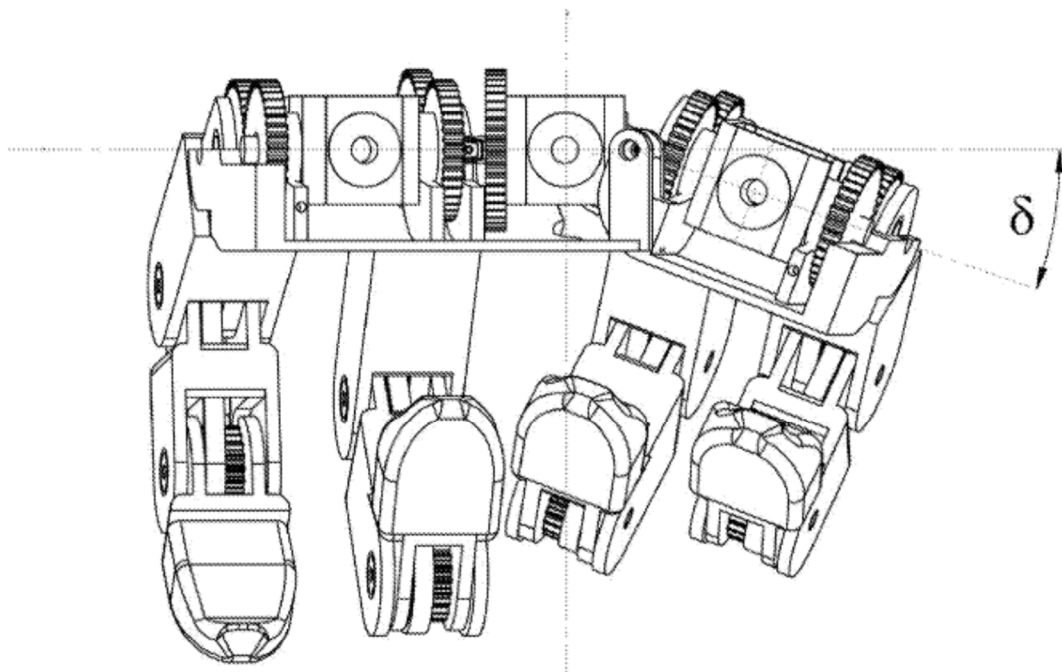


Fig. 13

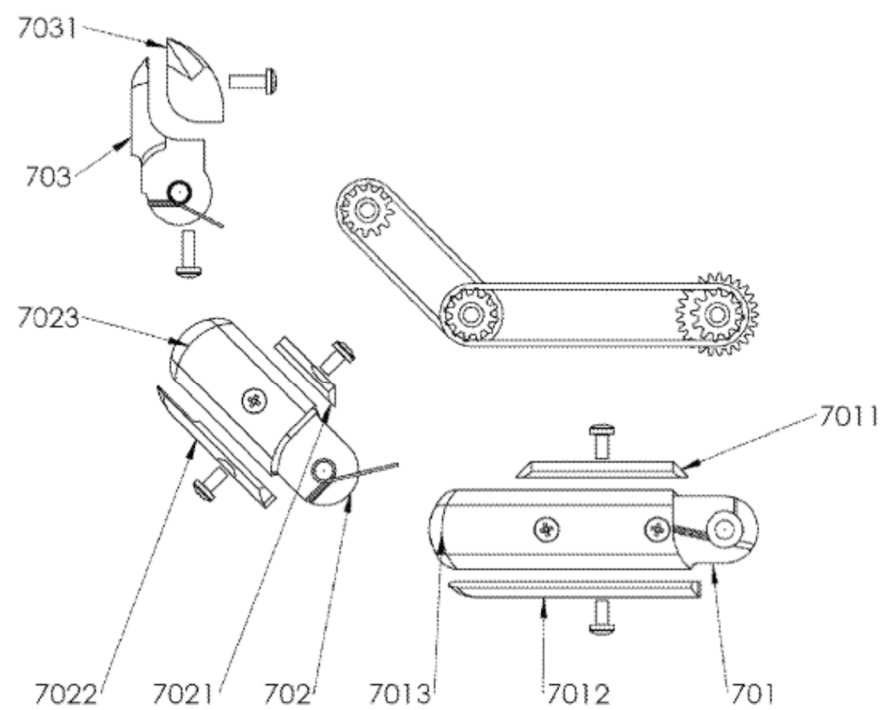


Fig. 14

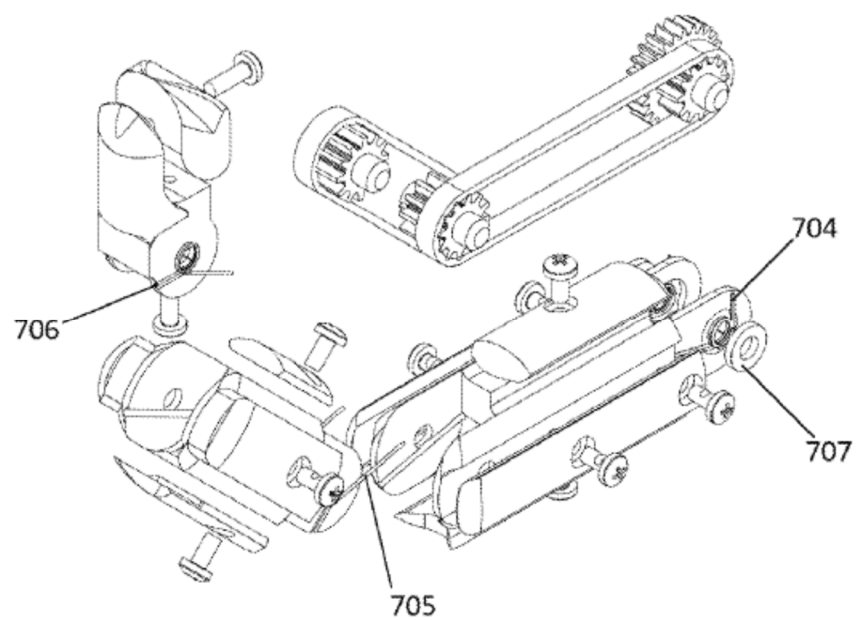


Fig. 15