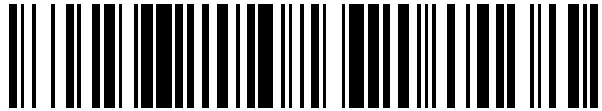


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 687 712**

21 Número de solicitud: 201830629

51 Int. Cl.:

**B25J 9/00** (2006.01)

**B25J 11/00** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**22.06.2018**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**26.10.2018**

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**(100.0%)**

**RAMIRO DE MAEZTU Nº 7**

**28040 MADRID ES**

72 Inventor/es:

**SALTARÉN PAZMIÑO, Roque Jacinto y**

**RODRÍGUEZ BARROSO, Alejandro**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

54 Título: **Robot paralelo actuado mediante cables tirantes con efector reconfigurable**

57 Resumen:

Robot paralelo actuado mediante cables tirantes con efector reconfigurable.

La presente invención trata de un mecanismo robotizado actuado mediante cables tirantes cuyo efector consiste en un mecanismo pasivo reconfigurable. El efector tiene la capacidad de posicionarse y orientarse con precisión en espacio de trabajo del robot. Además de este posicionamiento, el efector es capaz de modificar su estructura interna mediante la acción de los cables tirantes para posicionar un efector secundario respecto del efector principal. De esta manera, el robot puede realizar tareas de manipulación, posicionamiento de precisión o transporte objetos voluminosos y/o de forma irregular sin necesidad de actuadores en la plataforma móvil. El mecanismo del efector consta de varios resortes capaces de almacenar la energía mecánica suministrada por los cables tirantes con el fin de ejercer movimientos de manipulación más estables

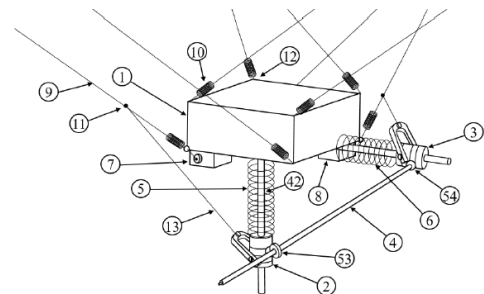


Fig 2

## DESCRIPCIÓN

### **Robot paralelo actuado mediante cables tirantes con efector reconfigurable**

#### **SECTOR TÉCNICO**

5 La invención se encuadra en el sector técnico de los robots paralelos actuados mediante cables tirantes. También se puede considerar dentro del campo de los robots paralelos de efector reconfigurable. Concretamente, el efector es capaz de modificar su estructura interna mediante la acción de los actuadores situados fuera del efector sin necesidad de la intervención de un operario o agente externo para realizar tareas de manipulación,  
10 posicionamiento de precisión o transportar objetos voluminosos y/o irregulares.

El campo de aplicación es el de manipulación, posicionamiento de precisión o transporte de objetos voluminosos y/o irregulares en grandes espacios de trabajo que se puedan beneficiar de las ventajas de un efector reconfigurable que no requiere disponer de  
15 actuadores en su efector para reconfigurarse. Aplicaciones útiles pueden ser la de trabajos en fondos marinos debido a que los motores que accionan los cables se mantienen en la superficie o el sector de la construcción de encofrados de geometría compleja en grandes estructuras.

20

#### **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

La referencia KR20160009129A utiliza un robot actuado mediante cables tirantes para controlar la posición del efector sumergido aprovechando el empuje ejercido por el agua  
25 sobre el mismo. Dicho robot se diseña para poder regular el empuje ejercido para variar la componente vertical de la fuerza en el efector. Esta referencia presenta la similitud con la presente invención de utilizar un robot paralelo actuado mediante cables tirantes para modificar la posición del efector en un ambiente submarino. Sin embargo, presenta las siguientes diferencias:

30

- No se considera al efector como un mecanismo articulado y, por tanto, tampoco se menciona la forma de actuar dicho efector reconfigurable.

- Debido a que no hace referencia a un efector definido como un mecanismo reconfigurable no se pueden comparar el resto de ventajas atribuibles a este tipo de  
35 efector.

- El robot se presenta como un sistema para posicionar y medir la posición del efector. No hace referencia a tareas de manipulación utilizando el efector.
- El conjunto robótico tiene una configuración para ser utilizado exclusivamente en entornos subacuáticos ya que requiere una fuerza vertical ascendente en el efector.

5

La referencia US2018009115 (A1) describe un robot actuado por cables en el que el efector está formado por una serie de módulos que pueden separarse para poder controlar el efector utilizando para ello un número de cables deseado. De este modo se puede trabajar en una sección concreta del espacio de trabajo global del robot sin que

10 haya interferencias de los cables con otros sólidos presentes en dicho espacio de trabajo. Las principales diferencias con respecto a la presente invención son:

- Se presenta un efector modular en el que se modifica el número de cables que lo controlan separando manualmente distintos módulos que conforman el efector. El efector no es un mecanismo reconfigurable que permita controlar su configuración interna de

15 manera proporcional a esfuerzos externos. Es decir, no se puede controlar la posición de una parte del efector con respecto a otra parte del mismo efector, sino que varias de las partes quedan inutilizadas cuando se desconectan de los cables actuantes.

- El efector requiere la acción de un operario para unir o separar los distintos módulos del efector.

20

- La ventaja de dicho robot es la capacidad de desligar módulos y cables del efector no la de controlar la posición del mecanismo que constituye el efector.

- Dado que el efector citado no es un mecanismo reconfigurable cuya posición relativa interna es proporcional a esfuerzos externos no se pueden comparar el resto de ventajas atribuibles a este tipo de efector.

25

La referencia US2009066100 (A1) presenta un método y mecanismo asociado a robots actuados por cables tirantes para el posicionamiento y orientación del efector. Considerando el efector como sólido rígido sin hacer ninguna referencia a la posibilidad de considerar un efector como un elemento reconfigurable cuya cadena cinemática interna pudiera ser internamente controlada. Al no considerar un efector reconfigurable

30 tampoco considera el resto de consideraciones que la presente invención realiza sobre la consideración de un efector caracterizado como un mecanismo capaz de realizar movimientos cuando uno de sus eslabones está posicionado y orientado en el espacio.

La referencia DE102016107532 (A1) se refiere a un robot actuado por cables definido como un aparato de procesamiento que consta de un dispositivo de manipulación y un dispositivo de alimentación. El dispositivo de manipulación es similar al dispositivo US2009066100 (A1) y US2018009115 (A1), es decir, un robot manipulador paralelo accionado mediante cables tirantes. El elemento diferenciador de esta referencia con respecto a las referencias con las cuales es comparado es el dispositivo de alimentación. El dispositivo de alimentación sirve para transportar la pieza de trabajo y/o la herramienta más allá del espacio de trabajo de manipulación. Ambas descripciones características de esta referencia: el manipulador y el dispositivo de alimentación no hacen ninguna referencia a un efector con capacidad de modificar su geometría para alcanzar nuevas configuraciones internas proporcionales a una acción externa. Por este motivo, esta referencia tampoco menciona las características innovadoras derivadas de la consideración de un efector reconfigurable presentadas en la presente patente de invención. Por esto, la invención a la que hace referencia la presente patente realiza un aporte significativo al estado de la técnica al que esta referencia hace mención.

La referencia CN101602209 (A) hace referencia al mecanismo de accionamiento, enrollado y tensado de cada uno de los cables destinado a un robot paralelo actuado por cables tirantes. Este mecanismo capaz de accionar y tensar los cables tirantes tiene la capacidad de ser colocado en cualquier punto de una estructura mecánica fija. Es por esto por lo que se hace referencia a un manipulador reconfigurable. Las diferencias de esta invención con la presente invención descrita en esta patente son:

- Los elementos reconfigurables son los puntos de partida de los cables desde el elemento mecánico fijo y no la estructura interna del efector.
- Las reconfiguraciones de los elementos de actuación de los cables deben ser reconfigurados manualmente por medio de un operario.
- No hace referencia a un efector reconfigurable por lo que el resto de descripciones relativas al mismo no tienen cabida en la comparación.

La referencia SPIDER ARM ROBOT (Url: [https://www.youtube.com/watch?v=rf4Zpf\\_MxrA](https://www.youtube.com/watch?v=rf4Zpf_MxrA) ) presenta un robot paralelo actuado por cables tirantes en cuyo efector hay situado un robot serial de 7 grados de libertad. El robot referenciado es capaz de realizar tareas de manipulación gracias al robot serial acoplado al efector del robot paralelo. Las diferencias de este robot con respecto a la invención presentada son:

- El mecanismo presente en el robot serial está acoplado al efector del robot paralelo actuado por cables tirantes. Dicho efector actúa como un sólido rígido puesto que los puntos de anclaje de los cables sobre el efector no pueden modificar su posición respecto del propio efector si no es mediante la actuación de un operario y fuera del funcionamiento normal del robot.  
5
- El mecanismo serial acoplado sobre el efector requiere del uso de actuadores directamente acoplados en sus grados de libertad para producir el movimiento. Estos actuadores están situados dentro del conjunto formado por el efector y el robot serial acoplado mientras que en la invención descrita en la presente patente los actuadores  
10 están situados necesariamente fuera del efector, siendo el movimiento del mecanismo del efector realizado únicamente mediante la acción de los propios cables.
- El esfuerzo que puede realizar el robot serial en su tarea de manipulación está limitado por la potencia de los motores situados en el robot serial mientras que en la presente invención los motores actuadores pueden tener más potencia puesto que los actuadores  
15 no se mueven junto con el efector por lo que pueden ser más voluminosos.
- Al utilizar un robot serial como el definido en la referencia citada sólo es posible realizar una tarea de manipulación simultánea mientras que en la presente invención es posible realizar hasta tres tareas simultáneas aprovechando las capacidades del efector considerado como mecanismo.
- El robot debe tener un cable de potencia eléctrica conectado al efector para poder accionar los motores del mecanismo serial.  
20
- El robot no tiene una componente elástica significativa que pueda hacer el robot seguro para una interacción humano-robot.

25 La referencia "An Elastic Cable Model for Cable-Driven Parallel Robots Including Hysteresis Effects". Cable-Driven Parallel Robots. SPRINGER. Pages 17-28 doi: 10.1007/978-3-319-09489-2\_2 realiza un estudio de un modelo elástico de un cable funcionando como componente propio de un robot paralelo actuado por cables tirantes. Este modelo se centra en el estudio de la elasticidad de un cable actuando bajo la tensión  
30 mecánica variable debida al funcionamiento propio de este tipo de robots. La relevancia de esta referencia para la presente invención es débil, aunque necesaria para tener en cuenta el estado de la técnica existente al respecto del estudio de la elasticidad de los cables en robots paralelos actuados por cables tirantes. La presente invención utiliza la elasticidad propia del sistema de cables, aunque se añaden muelles para modificar el  
35 comportamiento flexible de dichos cables. La parte más novedosa de esta invención no

recae sobre el fenómeno elástico del sistema sino en el efector considerado como un mecanismo pasivo capaz de modificar los puntos de anclaje de los cables sobre el propio mecanismo del efector así como de realizar un movimiento de dos grados de libertad aprovechando la capacidad de reconfiguración del efector.

5

La referencia "Elasto-geometrical calibration of an industrial robot under multidirectional external loads using a laser tracker". 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Pages 4320 - 4327 doi: 10.1109/ICRA.2016.7487630 utiliza un robot paralelo actuado por cables tirantes para realizar una calibración elasto-geométrica de un robot industrial. Esta referencia es útil para conocer el estado del arte de las aplicaciones industriales de precisión que se le dan a este tipo de robots aunque la relevancia para la presente invención es débil.

## 15 **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La presente invención es un robot paralelo actuado mediante cables tirantes con un efector reconfigurable formado por un mecanismo de dos grados de libertad. El mecanismo que constituye el efector es pasivo, esto es, no tiene actuadores situados en el propio mecanismo para realizar los movimientos internos del efector, sino que la actuación proviene del esfuerzo mecánico de los cables tirantes que están unidos a cada uno de los eslabones que componen el efector.

El robot descrito consta de ocho cables actuados y controlados. Estos cables pueden estar actuados mediante cabrestantes motorizados que despliegan y recogen cierta cantidad de cable en función de la posición o trayectoria que se desea seguir con el efector. Los cables también pueden ser actuados mediante guías lineales que desplazan el punto de partida del cable a lo largo de una estructura rígida que sirve de soporte para el robot. La disposición de los cabrestantes o las guías lineales que controlan la posición y/o despliegue de cable pueden estar colocados en una zona situada sobre el efector, siendo esta la configuración suspendida o estar distribuidos en cualquier otra configuración.

Los ocho cables actuados están conectados a uno de los eslabones principales, llamado efector principal. Este efector principal tiene la capacidad de posicionarse y orientarse

35

con precisión en el espacio de trabajo gracias al esfuerzo mecánico ejercido por los mencionados ocho cables. La conexión de los ocho cables con el efector principal se realiza mediante un conector que permite la orientación en los tres grados de libertad del cable, es decir, un acoplamiento de tipo esférico. Entre este acoplamiento esférico y cada uno de los ocho cables se coloca un muelle de tracción. Este muelle permite dotar de mayor flexibilidad al sistema ante perturbaciones externas como el eventual contacto o colisión con un objeto, persona u otro robot. Del mismo modo, estos muelles se deforman más fácilmente que el cable al estar sometidos a tensión mecánica por lo que se utilizan para medir la deformación lineal de los mismos. Esta deformación lineal se mide mediante el uso de transductores lineales de posición. El cuerpo de estos sensores está unido solidariamente al efector y permiten desplegar un hilo de medición del que se conoce su longitud exacta en cada instante de tiempo. El extremo del hilo de medición del sensor está unido, sin posibilidad de deslizamiento, en un punto del cable posterior al muelle. De esta manera el hilo de medición del sensor permite medir la deformación del muelle. Conociendo la rigidez de dicho muelle, la medida de la deformación del muelle permite conocer la tensión a la que está sometido el cable porque la tensión es la misma en el muelle, en el cable y en el eslabón esférico que une el cable con el efector principal. Debido a que el mecanismo que compone el conjunto del efector tiene dos grados de libertad, sólo es estrictamente necesaria la colocación de dos de estos transductores lineales.

Además del efector principal, hay otros dos efectores secundarios, que son los otros dos eslabones del mecanismo que comprende el efector del robot paralelo actuado por cables tirantes. Cada uno de estos dos efectores secundarios tiene la capacidad de realizar un movimiento lineal de un grado de libertad con respecto al efector principal. Este movimiento se realiza a lo largo de una varilla solidaria al efector principal. Para asegurar que únicamente es posible el movimiento lineal sobre el eje de la varilla y que no aparece un movimiento rotatorio sobre el eje axial de la varilla dicha varilla posee una muesca a lo largo de toda su longitud. Cada uno de los dos efectores secundarios tienen un reborde interior que se ajusta con la muesca de la varilla para impedir la rotación del efector secundario sobre el eje axial de la varilla. El movimiento de los efectores secundarios se realiza mediante el esfuerzo de tracción de un cable sobre cada uno de los efectores secundarios. Estos cables permiten producir sobre cada efector secundario un movimiento en un sentido a lo largo de la guía lineal. Para producir el movimiento en el efector secundario en el sentido opuesto al de la tracción producida por el cable que está

unido al efector secundario se colocan un muelle entre el efector secundario y el efector principal. Este muelle colocado entre cada efector secundario y el efector principal permite ejercer un esfuerzo opuesto al esfuerzo que es capaz de ejercer el cable. Dependiendo de si el esfuerzo del cable está previsto que aleje el efector secundario del efector principal o lo acerque se colocará un muelle de compresión o de tracción. Si el esfuerzo de tracción del cable acerca ambos eslabones se debe colocar un muelle de compresión capaz de ejercer un esfuerzo capaz de separar ambos cuerpos. Si el esfuerzo del cable aleja el efector secundario del efector se debe colocar un muelle de tracción capaz de ejercer un esfuerzo que acerque ambos eslabones y sea capaz de contrarrestar el esfuerzo ejercido por el cable. Para detectar el sentido del movimiento del efector secundario con respecto al efector principal cuando el cable del efector secundario ejerce un esfuerzo de tracción es necesario tener en cuenta la distribución de los cabrestantes o guías lineales de las que parten los cables en la estructura fija, así como la región de trabajo que tendrá el efector con respecto a los mencionados cabrestantes o guías lineales.

Los cables que ejercen esfuerzo sobre los efectores secundarios no tienen un muelle intermedio como los ocho cables que ejercen un esfuerzo sobre el efector principal. Estos cables de los efectores secundarios parten de un punto intermedio de dos de los cables que actúan sobre el efector principal. La unión del cable del efector secundario con el cable del efector principal se realiza de modo que no sea posible que este punto de unión se pueda desplazar, sino que sea un punto fijo en el cable del efector principal. Mediante esta unión de los dos cables, el del efector principal y el del efector secundario se utiliza el esfuerzo mecánico, ejercido por el cabrestante motorizado o la guía lineal motorizada, para ejercer una fuerza sobre el efector principal y sobre el efector secundario de manera simultánea. El presente mecanismo tiene dos efectores secundarios. Cada efector secundario está actuado por un cable que va unido a dos cables diferentes de los ocho que ejercen su esfuerzo sobre el efector principal. Estos dos cables que están conectados al efector principal son los que deben tener acoplados el transductor lineal para poder medir la deformación del muelle que está entre el cable y el efector principal. De este modo, se puede obtener información de la tensión ejercida por dicho cable sobre el efector principal conociendo previamente la rigidez del muelle y aplicando la Ley de Hooke. El conocimiento de las tensiones obtenidas mediante los transductores lineales junto con el conocimiento de las tensiones sobre los seis cables obtenida mediante la información suministrada por los motores es posible conocer el esfuerzo ejercido por los



ocho cables sobre el efector principal. De esta manera es posible posicionar y trasladar lineal y angularmente el efector principal. El esfuerzo para la actuación de cada uno de los dos efectores secundarios se realiza controlando el esfuerzo del motor del cabrestante o de la guía lineal del correspondiente cable que tiene a su vez acoplado el cable tractor del efector secundario. La posición del efector principal se puede mantener estable debido al conocimiento de la tensión mecánica ejercida por el cable que ha sido actuado para mover el efector secundario y que a su vez ejerce un esfuerzo sobre el efector principal. Esta variación de la tensión en el cable que se conecta con el efector principal es compensada modificando la tensión del resto de cables que ejercen un esfuerzo sobre el efector con el fin de mantener la estabilidad del efector.

El cuerpo de cada efector secundario está constituido por un cilindro hueco. La oquedad del cilindro está alineada con el eje axial de la varilla solidaria al efector principal por lo que el cilindro hueco puede realizar un movimiento lineal a lo largo de dicha varilla. Para evitar que el cilindro pueda rotar sobre su eje axial con respecto a la varilla en el interior del cilindro hay una protuberancia saliente que hace contacto con una muesca en la varilla presente a lo largo de toda la longitud de la misma. Alrededor de cada cilindro que compone cada efector secundario, son situados otros dos cilindros huecos. Estos dos cilindros pueden rotar libre e independientemente alrededor del eje axial del cilindro principal. Uno de los cilindros exteriores tiene agujeros en los lados opuestos para conectar en ellos una argolla que sirve de punto de conexión del cable que ejerce esfuerzo mecánico sobre el efector secundario. El uso de la argolla junto con el cilindro exterior permite que el esfuerzo del cable conectado al efector secundario se pueda ejercer virtualmente sobre el centro del disco exterior sobre el que está conectado la argolla con el fin de facilitar los cálculos. El segundo cilindro exterior tiene un agujero en el que se puede conectar cualquier elemento mecánico del que se quiera obtener un movimiento relativo del mismo respecto del efector principal.

El movimiento independiente de cada uno de los dos efectores secundarios puede aprovecharse para realizar un movimiento de dos grados de libertad mediante el uso de un cuarto eslabón. Este cuarto eslabón es una varilla conectada al cilindro exterior de uno de los efectores secundarios mediante un acoplamiento esférico capaz de permitir la rotación de dicha varilla en sus tres ángulos de orientación. Esta varilla obtiene el esfuerzo debido al segundo efector secundario gracias a que la varilla pasa por el interior de una anilla unida a uno de los cilindros exteriores del segundo efector secundario. Esta

anilla está unida a dicho cilindro exterior del segundo efector mediante un acoplamiento esférico de manera que puede rotar libremente sobre cualquiera de sus tres ejes de rotación. La varilla puede deslizarse libremente por el interior del citado anillo. De esta manera, siempre que las varillas solidarias al efector principal y que guían el movimiento  
5 de los dos efectores secundarios no tengan la misma orientación, en el extremo libre de la varilla que constituye el cuarto eslabón del efector se puede ejercer un movimiento con dos grados de libertad. En el caso de que las dos varillas solidarias al efector final tuvieran la misma orientación el movimiento en el extremo de la varilla que constituye el cuarto eslabón del efector se podría obtener únicamente un movimiento de un grado de  
10 libertad.

La finalidad del presente mecanismo es, por tanto, la de tener un robot paralelo accionado por cables tirantes en la que el efector principal puede ser controlado del modo habitual en este tipo de mecanismos. La novedad es la de considerar el efector como un  
15 mecanismo que consta de dos eslabones adicionales al efector principal. Estos dos eslabones pueden ser controlados de manera independiente para ejercer un movimiento relativo con respecto al eslabón principal sin la necesidad de tener actuadores en el propio efector. La actuación del mecanismo del efector se realiza haciendo uso de la tensión ejercida por los cables que controlan el efector principal. Los cables que actúan  
20 sobre los efectores secundarios obtienen el esfuerzo de tensión mediante un acoplamiento solidario del cable del efector secundario sobre el cable que actúa sobre el efector principal. Esto permite tener un efector sin motores ni cableado de potencia capaz de realizar movimientos de dos grados de libertad internos y de hasta ocho grados de libertad si se tiene en cuenta el efector en su conjunto.

25

Otra de las ventajas de esta invención está en el uso de muelles y sistemas elásticos para el control tanto del efector como del mecanismo interno que compone el efector. Mediante esta consideración se posibilita el uso de este robot en entornos cercanos a  
objetos, humanos u otros robots puesto que el esfuerzo ejercido mediante los muelles o  
30 elementos elásticos es atenuado ante colisiones con elementos rígidos externos.

## **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

35 Las figuras adjuntas muestran la estructura del efector considerado como un mecanismo

de dos grados de libertad tal y como se ha descrito. Se presentan tres configuraciones posibles no limitativas para aprovechar las capacidades del mecanismo del efector. Adicionalmente se añaden tres figuras con posibles configuraciones no limitativas para de los cabrestantes o guías lineales desde donde parten los cables.

5

Figura 1: Muestra del efector como mecanismo reconfigurable con dos grados de libertad independientes de uso general.

Figura 2: Muestra el efector como mecanismo reconfigurable añadiendo un elemento mecánico para combinar los dos movimientos del mecanismo del efector en un único movimiento de dos grados de libertad.

10

Figura 3: Muestra una composición mecánica que aprovecha el mecanismo del efector para tareas de construcción de forjados de geometría compleja para encofrados.

15

Figura 4: Muestra una posible posición de los cabrestantes situados por encima del efector. Esta es la configuración suspendida.

Figura 5: Muestra una posible posición de los cabrestantes en la que el efector puede estar totalmente restringido sin depender de los efectos gravitatorios.

20

Figura 6: Muestra una configuración mecánica en la que puede utilizarse el mecanismo del efector para aplicaciones submarinas mientras todos los actuadores están en la superficie.

25

Figura 7: Muestra con detalle la estructura mecánica de cada uno de los efectores secundarios y la varilla que sirve de guía para su movimiento.

Figura 8: Muestra un ejemplo de aplicación industrial del robot propuesto, que se aplica a la construcción de forjados con una geometría compleja para construcción u ornamentación.

30

## **DESCRIPCIÓN DE UNA REALIZACIÓN PREFERIDA**

35 El aspecto fundamental de la presente invención es un robot paralelo accionado mediante

cables tirantes cuyo efector es un mecanismo de dos grados de libertad actuado mediante el mismo esfuerzo de tracción de los cables que actúan sobre uno de los eslabones de dicho mecanismo. De esta manera es posible controlar en posición y en orientación el eslabón que dispone de la conexión de todos los cables mientras que se puede, simultáneamente, controlar el movimiento de los dos grados de libertad del mecanismo interno.

El efector principal (1) es actuado mediante ocho primeros cables (9) sometidos a un esfuerzo de tracción. Este esfuerzo de tracción es transmitido al efector principal con la finalidad de posicionarlo lineal y angularmente en el espacio, así como seguir trayectorias o ejercer determinados esfuerzos sobre otros objetos. La conexión del cable con el efector principal (12) es una conexión de tipo esférica que permite orientar el cable en las tres direcciones linealmente independientes en el espacio. Entre cada uno de los ocho primeros cables (9) y los puntos de conexión (12) de los mismos con el efector principal (1) se colocan muelles (10) capaces de deformarse linealmente ante los esfuerzos de tensión presentes en cada uno de los cables.

Los cables son controlados mediante actuadores lineales que se desplazan a lo largo de guías fijas o mediante cabrestantes compuestos por un tambor (17) en el que se enrolla el cable y es guiado de manera que se le permite partir desde el mismo punto del tambor (16) de modo que se tenga localizado el punto exacto de partida del cable en el tambor. El tambor es accionado y controlado mediante el uso de un motor (18) unido al tambor. Los cabrestantes o guías lineales están colocados en cualquier punto de la estructura fija de soporte (19). Si estos actuadores están situados en la parte superior, por encima del efector el sistema es un robot paralelo suspendido accionado por cables tirantes (Figura 4). Los actuadores también pueden situarse en la parte superior e inferior (22) para dotar de mayor rigidez al efector (Figura 5). La estructura mecánica fija puede estar fija con respecto al suelo (20), también puede tener la capacidad de desplazarse respecto a un punto fijo del suelo (20) mediante el uso de ruedas (23). Otra opción posible para la disposición de la estructura fija, donde los cabrestantes o guías lineales están situados, es la de una plataforma flotante marina (Figura 6). La configuración de la estructura fija como plataforma flotante tiene situados los ocho actuadores sobre la plataforma. Esta plataforma flota sobre la superficie de un medio acuático mediante el uso de una boya (26). El empuje del agua ejercido sobre la boya se transmite al resto de la estructura fija mediante barras rígidas (27). Teniendo todos los actuadores sobre la superficie del agua

se evitan problemas típicos de estanqueidad de los actuadores que se encuentran sumergidos en robótica submarina. Esta configuración aporta, además la capacidad de colocar motores de mayor potencia y de tecnología de alto poder comburívoro como motores de combustión lo que posibilita su uso en tareas de manipulación submarina de cargas voluminosas y pesadas. Para poder tener la referencia de posición de la plataforma sobre la superficie acuática se dispone de una antena GPS (25) así como elementos de posicionamiento visuales tales como reflectores o emisores láser (24).

El efector del robot paralelo actuado mediante cables tirantes es un mecanismo de 2 grados de libertad en lugar de ser un sólido rígido. El eslabón principal de este mecanismo es el efector principal (1) y tiene conectados los ocho cables en cada uno de sus vértices. La elección del vértice en el que colocar cada cable depende de la aplicación que vaya a tener el robot, al espacio de trabajo deseado y a las fuerzas que se prevé que aparezcan. Los otros dos eslabones del mecanismo que compone el efector son los efectores secundarios (2) (3). Los dos efectores secundarios tienen idéntica estructura mecánica que les permite realizar un movimiento lineal a lo largo de una varilla (42) que actúa como una guía lineal (5) (6) que restringe el movimiento de los efectores secundarios a un grado de libertad. Los efectores secundarios son controlados mediante un segundo cable (13) unido a cada uno de ellos. Este segundo cable (13) al ser tensionado ejerce un esfuerzo sobre el efector secundario (2) (3) que hace que se desplace en un sentido de la guía lineal (5). Esta guía lineal (5) (6) está unida al efector principal (1) de manera que el movimiento de ambos efectores secundarios es relativo a la posición del efector principal (1). Para mover el efector secundario (2) (3) en dirección opuesta a la del movimiento impuesto por el segundo cable (13) tensionado se coloca un elemento mecánico flexible (43) como un muelle alrededor de la varilla (42) entre el efector secundario (2) (3) y el efector principal (1). La varilla (42) junto con el elemento mecánico flexible (43) conforman cada uno de los conjuntos definidos como guías lineales (5) (6). El comportamiento del elemento mecánico flexible (43) de la guía lineal (5) hace que el efector secundario (2) (3) tienda a situarse en la posición definida por la longitud característica del elemento mecánico flexible (43), comportamiento que permite invertir la acción ejercida por el segundo cable (13) del efector secundario (2) (3). La posición y orientación de las varillas (42) que actúan como guías lineales (5) con respecto al efector principal (1) depende del movimiento que se desee obtener del mecanismo que configura el efector respecto del efector principal.

La tensión de los segundos cables (13) de los efectores secundarios (2) (3) proviene de uno de los primeros cables (9) que controlan el efector principal (1). En un punto (11) del primer cable (9) que actúa sobre el efector principal (1) se conecta el segundo cable (13) que actúa sobre el efector secundario (2) (3). De esta manera, la fuerza ejercida para controlar el efector secundario (2) (3) es ejercida por el motor que actúa sobre el primer cable (9) unido al efector principal, es decir, la acción de control del primer cable (9) directamente controlado es ejercida sobre el efector principal (1) y sobre uno de los dos efectores secundarios (2) (3). El modo de control eficaz de este mecanismo es controlando el efector secundario deseado (2) o (3) actuando sobre el primer cable (9) conectado al efector principal (1), el cual, ejerce una tensión sobre el segundo cable (13) del efector secundario. Al mismo tiempo se mide y calcula la fuerza que este primer cable actuado (9) ejerce sobre el efector principal (1) y se compensa este esfuerzo producido por el primer cable (9) modificando la tensión del resto de cables. Para conocer el esfuerzo producido por el cable actuado sobre el efector principal se utiliza un transductor lineal de hilo (7). Este sensor está unido de manera solidaria al efector principal (1) mientras que el extremo del hilo de medición está unido al primer cable (9) que es actuado en un punto posterior al muelle (10). La variación de longitud es medida mediante el sensor lineal (7) debido a que el sensor lineal (7) es capaz de medir la variación de longitud del hilo que parte del cuerpo del sensor lineal (7) hasta un punto fijo del primer cable que es actuado (9). El hilo de este sensor lineal debe pasar por el interior del muelle (10) para poder medir la elongación del muelle (10) a lo largo de su eje axial. Conocida la elongación del muelle (10) mediante el uso del sensor lineal (8) y conociendo la rigidez del muelle (10) calculada previamente, se puede conocer la tensión que el primer cable (9) ejerce sobre el efector principal (1) aplicando la Ley de Hooke. De esta manera se conoce la tensión que deben ejercer el resto de cables para compensar esta variación de tensión.

La estructura de cada uno de los efectores secundarios (figura 7) permite orientar libremente alguna de sus partes para alinear la tensión ejercida por el segundo cable (13) del efector secundario con la varilla (42) que actúa como guía lineal. El cuerpo principal del efector secundario (2) (3) es un cilindro hueco (35) en cuyo agujero central hay un reborde (37) que encaja en la muesca (44) de la varilla (42) que actúa como eje lineal. Esta muesca evita que el cilindro hueco (35) del efector secundario (2) (3) rote sobre su eje axial de manera que su orientación no varía durante el funcionamiento normal del robot. Dos cilindros huecos rotatorios (39) (40) se colocan alrededor del cilindro hueco

(35). Estos cilindros huecos rotatorios (39) (40) pueden rotar sobre su eje axial respecto al cilindro hueco (35). Su posición axial respecto del cilindro hueco (35) es constante debido al bloqueo que ejerce el reborde (36) del cilindro hueco (35) en el lado superior y al disco inferior (38). Este disco inferior (38) en la parte inferior del cilindro hueco (35) mediante tres tornillos (41) una vez que se han colocado los cilindros rotatorios (39) (40) en su posición alrededor del cilindro hueco (35). De esta manera queda definida la posición de los dos cilindros rotatorios (39) (40), sólo quedando libre su movimiento rotatorio alrededor del eje axial del cilindro hueco (35).

10 Sobre uno de los dos cilindros rotatorios (39) (40) se coloca una argolla (48) unida mediante tornillos (47) roscados en los agujeros roscados (45) (46) de uno de los dos cilindros rotatorios (39) (40). Esta argolla puede girar sobre los tornillos (47) que la unen a uno de los cilindros rotatorios (39) (40). De esta manera, la argolla tiene libertad para rotar sobre dos ejes de rotación. El segundo cable (13) del efector secundario (2) (3) se fija a la argolla utilizando el agujero (50) de su extremo. Esta fijación no requiere de un acople que permita libertad de orientación pudiendo usarse un acoplamiento que restrinja los tres grados de libertad de la orientación. Los orificios (45) (46) de los cilindros rotatorios (39) (40) que no son utilizados por la argolla sirven para acoplar cualquier elemento que se quiera controlar mediante el uso de este mecanismo como puede ser el extremo de un soldador, una pinza, una cizalla o cualquier otro elemento para manipulación que pueda beneficiarse de la posibilidad de movimiento del efector secundario (2) (3) respecto del efector principal (1).

La descripción del párrafo anterior permite utilizar el movimiento de cada uno de los dos efectores secundarios (2) (3) de manera independiente (Figura 1). Una configuración (Figura 2) en la que se añade un nuevo eslabón (4) permite utilizar el movimiento de los dos efectores secundarios (2) (3) de manera que se obtenga un movimiento final de dos grados de libertad. Para la realización de este mecanismo se utiliza una varilla (4) unida a uno de los efectores secundarios (3) mediante un acoplamiento esférico (54) que permita un movimiento de la varilla (4) en sus tres ejes de orientación con respecto al efector secundario (3). Este acoplamiento esférico (54) solidario a la varilla (4) se atornilla en uno de los agujeros roscados (45) (46) de los cilindros rotatorios (39) (40). Para aprovechar el movimiento del segundo efector secundario (2) se hace pasar la varilla (4) por el interior de una anilla (53) atornillada en uno de los agujeros roscados (45) (46). Esta anilla (53) debe tener la capacidad de rotar sobre el eje del tornillo que la une al cilindro rotatorio

(39) (40) para poder adaptarse a cualquier orientación de la varilla (4). De esta manera la varilla (4) puede ser controlada utilizando dos grados de libertad para poder realizar movimientos complejos una vez que se ha posicionado el efector principal (1). Por ejemplo, el efector principal (1) puede seguir una trayectoria cerca de una superficie curva irregular mientras la varilla (4) puede seguir una trayectoria con más precisión a lo largo de dicha superficie para desempeñar tareas de limpieza, soldadura, corte o cualquier otro tipo de operación que requiera posicionamiento preciso en espacios de trabajo amplios.

10

### **APLICACIÓN INDUSTRIAL**

Un ejemplo de aplicación industrial del mecanismo propuesto es el de construcción de forjados con una geometría compleja (Figura 8) para construcción u ornamentación (Figura 3). El efector puede posicionarse lineal y angularmente en cualquier lugar de su espacio de trabajo. El efector trabaja preferiblemente en una configuración suspendida ya sea en tierra firme (Figura 4) o en entornos submarinos (Figura 6) con una estructura de soporte fija capaz de trasladarse para ampliar el área de trabajo.

20

El proceso comienza una vez conocida la estructura de geometría compleja que se va a realizar y los lugares de intersección de varillas para realizar los puntos de soldadura y fijar la estructura. Un operario u otra máquina coloca la primera varilla en el cilindro hueco (32) solidario al efector principal (1) en el sentido marcado por la flecha (52) dejando suficiente longitud de varilla en el interior. Este cilindro permite sujetar con firmeza la varilla debido a que tiene una tolerancia dimensional cercana a la medida del calibre de la varilla. El efector se posiciona de manera que el extremo de la varilla se sitúe en el primer punto en el que debe ir soldada esta varilla. Una vez alcanzada la posición lineal y angular deseada utilizando el efector principal, se acciona el actuador del efector secundario (3) encargado de soldar el extremo de la varilla en el lugar deseado. El efector secundario (3) tiene acoplado un sistema de soldadura por resistencia (33) mediante una pieza rígida (34) que fija dicho sistema de soldadura al agujero roscado (51) del disco inferior (38) del efector secundario (3). Ejerciendo tensión en el segundo cable (13) del efector secundario el soldador se aproxima a la varilla hasta hacer contacto con ella. En todo momento se mantiene la posición y orientación de la varilla mediante el control de la posición y orientación del efector principal (1).

35



Una vez que la varilla ha sido soldada, y por tanto fijada, el efector realiza un movimiento lineal en dirección contraria a la flecha (52) de manera que la longitud de varilla en el interior del efector aumenta al ir deslizándose por el interior del anillo de sujeción (32).

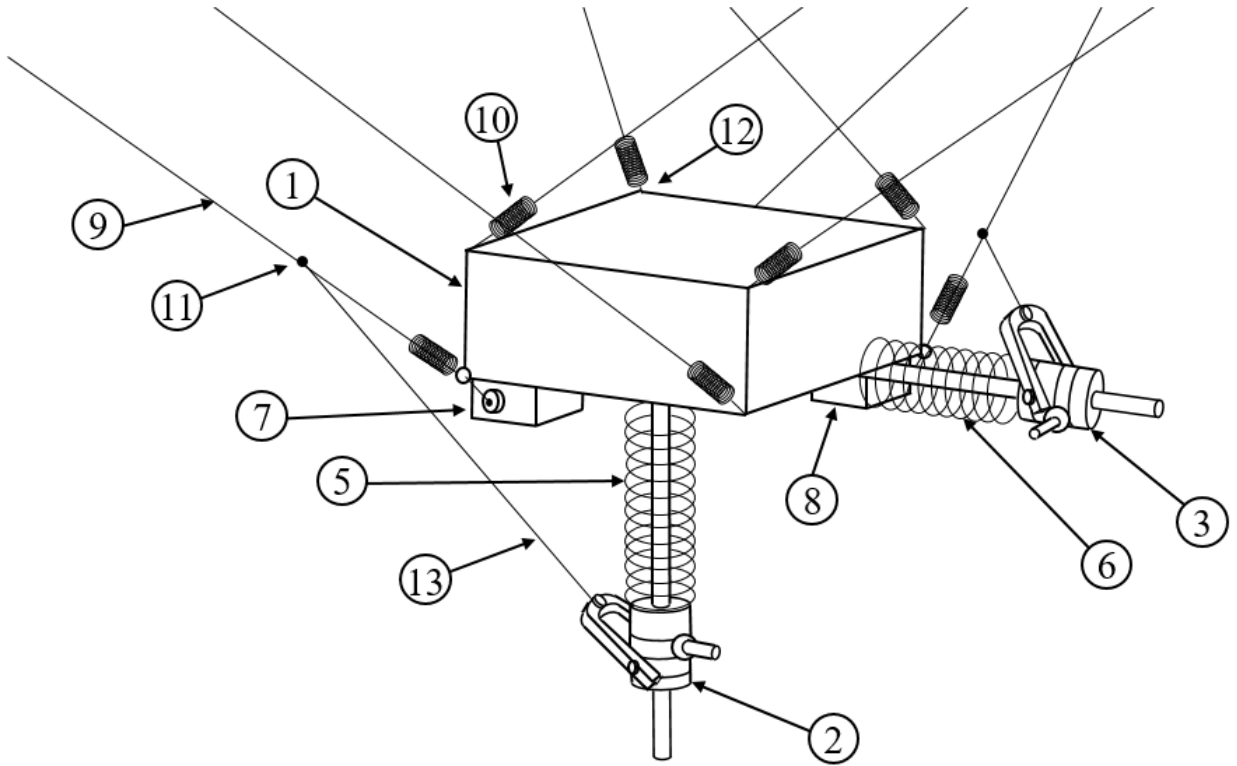
5 Este movimiento requiere que el efector ejerza cierta fuerza para vencer la fricción de sujeción del anillo de sujeción (32). Durante este proceso el efector puede, adicionalmente, ejercer fuerzas en otras direcciones para doblar la varilla y crear forjados con geometrías curvas.

10 Una vez que se ha utilizado la cantidad de varilla de forjado deseada se acciona el segundo cable (13) correspondiente al efector secundario (2) destinado al corte de la varilla de forjado. La tensión producida por el segundo cable (13) hace que se desplace verticalmente hacia arriba el efector secundario (2) que tiene acoplada una cuchilla de corte para varilla (28). Esta cuchilla de corte para varilla (28) está colocada en una pieza  
15 (28) que está atornillada al efector secundario (2) en el agujero (51) del disco (38) que tiene la rotación restringida.

Este mecanismo permite realizar soldaduras y cortes sucesivos de la misma varilla. Una vez que se ha utilizado toda la cantidad útil de la varilla el efector debe desplazarse a la  
20 zona donde un operario u máquina debe colocar una nueva varilla para repetir el proceso de soldadura, doblado y corte.

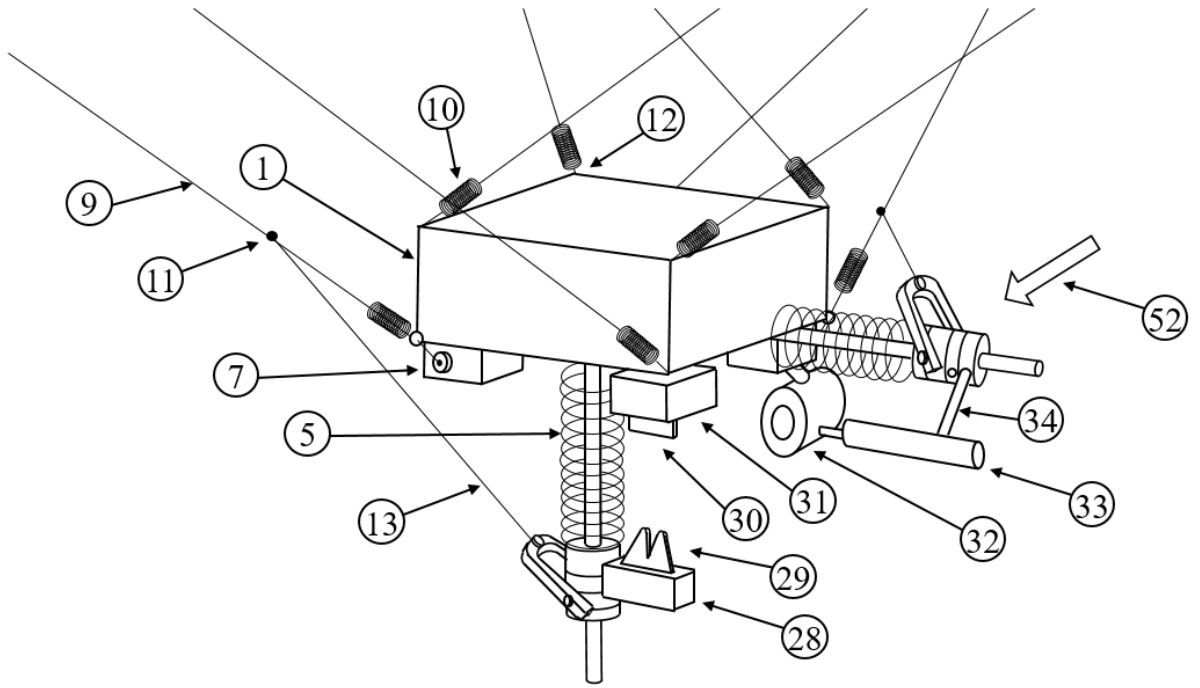
## REIVINDICACIONES

1. Robot paralelo actuado mediante cables tirantes con efector reconfigurable caracterizado por que comprende los siguientes elementos:
  - 5 a. unos primeros cables (9) conectados por unos de sus extremos a un efector principal (1);
  - b. al menos una varilla (42) que está unida al efector principal (1);
  - c. al menos un efector secundario (2), (3); donde el efector secundario está compuesto por al menos un primer cilindro hueco (35) que está  
10 configurado para deslizarse a lo largo de la varilla (42);
  - d. un elemento mecánico flexible (43) como un muelle ubicado alrededor de cada una de las varillas (42); donde dicho elemento mecánico flexible (43) está situado entre el efector principal (1) y el efector secundario (2), (3); donde la varilla (42) y el elemento mecánico flexible (43) configuran una  
15 guía lineal (5), (6) del efector secundario (2), (3);
  - e. al menos un segundo cable (13); donde uno de los extremos del segundo cable (13) está conectado al efector secundario (2), (3); mientras que otro extremo del segundo cable (13) está unido a uno de los primeros cables (9) conectados al efector principal (1).
- 20 2. Robot paralelo, según reivindicación 1, caracterizado por que el efector secundario comprende al menos un segundo cilindro hueco rotatorio (39), (40) que está configurado para girar sobre el primer cilindro hueco (35).
3. Robot paralelo, según reivindicación 1 y 2, caracterizado por que comprende unos  
25 sensores lineales (7) fijados al efector principal (1); donde cada uno de los sensores lineales (7) incluye un hilo de medición; y donde un extremo de dicho hilo de medición está conectado a cada uno de los primeros cables (9);
4. Robot paralelo, según reivindicaciones 2 y 3, caracterizado por que comprende una varilla (4) unida por medio de un acoplamiento esférico (54) a uno de los segundos cilindros huecos rotatorios (39) (40); donde esta varilla pasa por el interior de una anilla  
30 (53) que está unida a otro de los segundos cilindros huecos rotatorios (39) (40); y donde dicha anilla (53) tiene la capacidad de girar para orientarse espacialmente sobre otro de los segundos cilindros huecos rotatorios (39) (49).

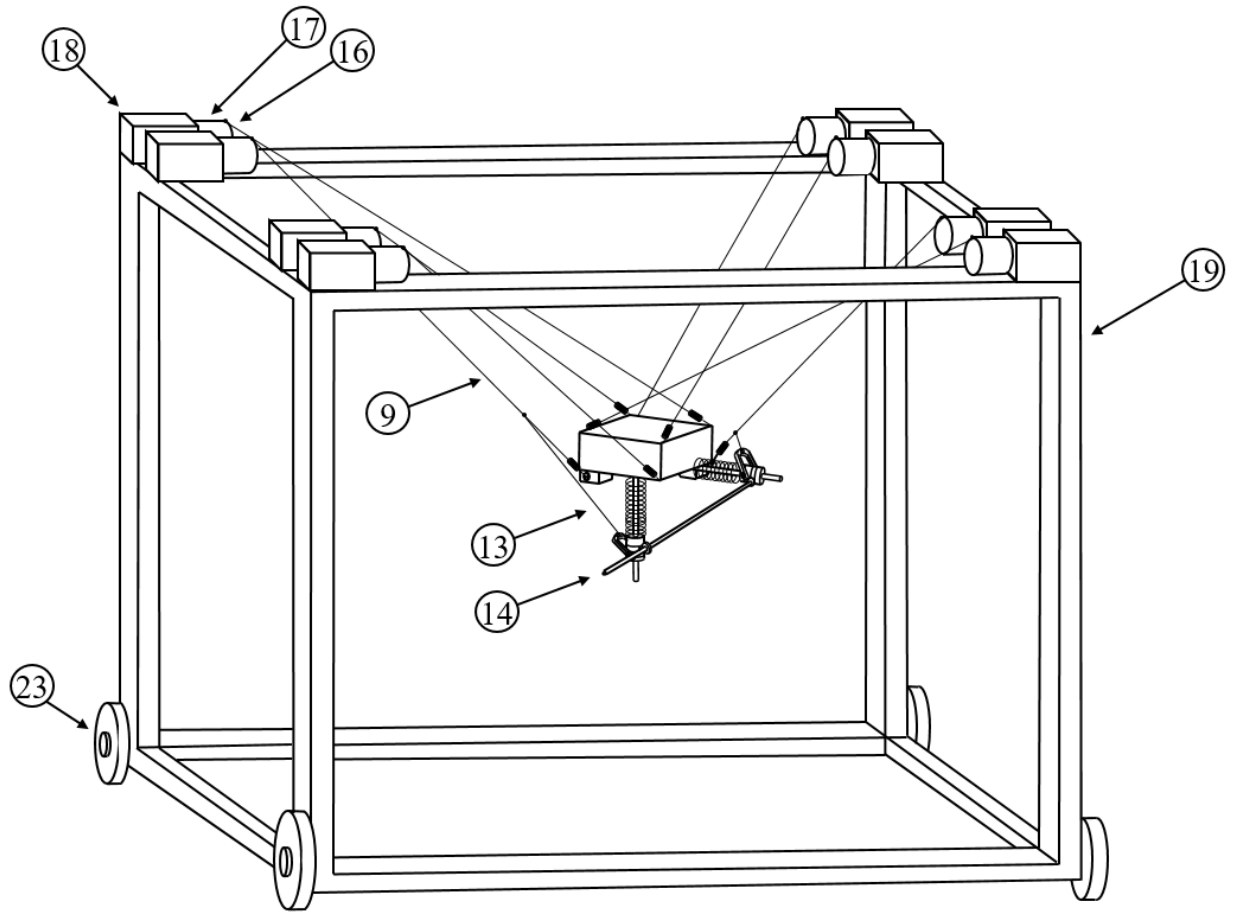


**Fig 1**

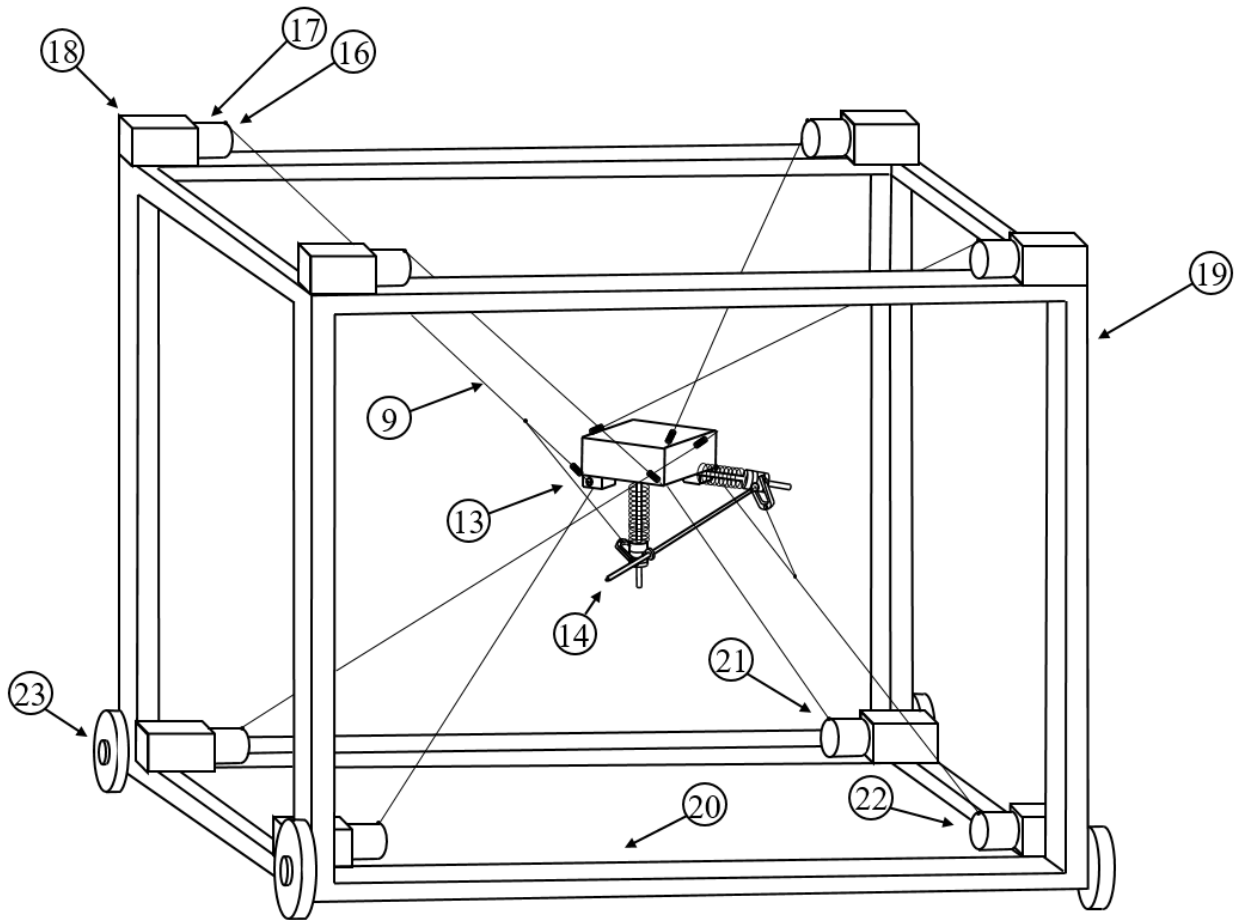




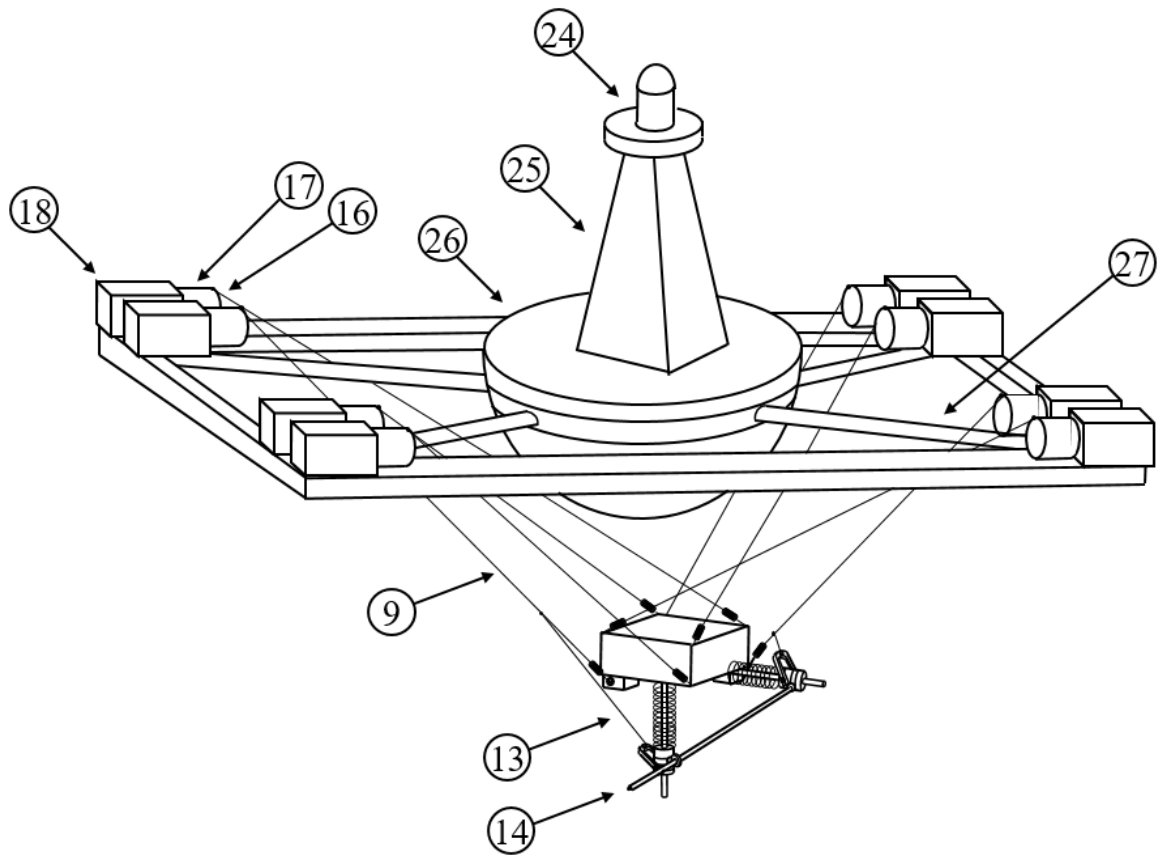
**Fig 3**



**Fig 4**

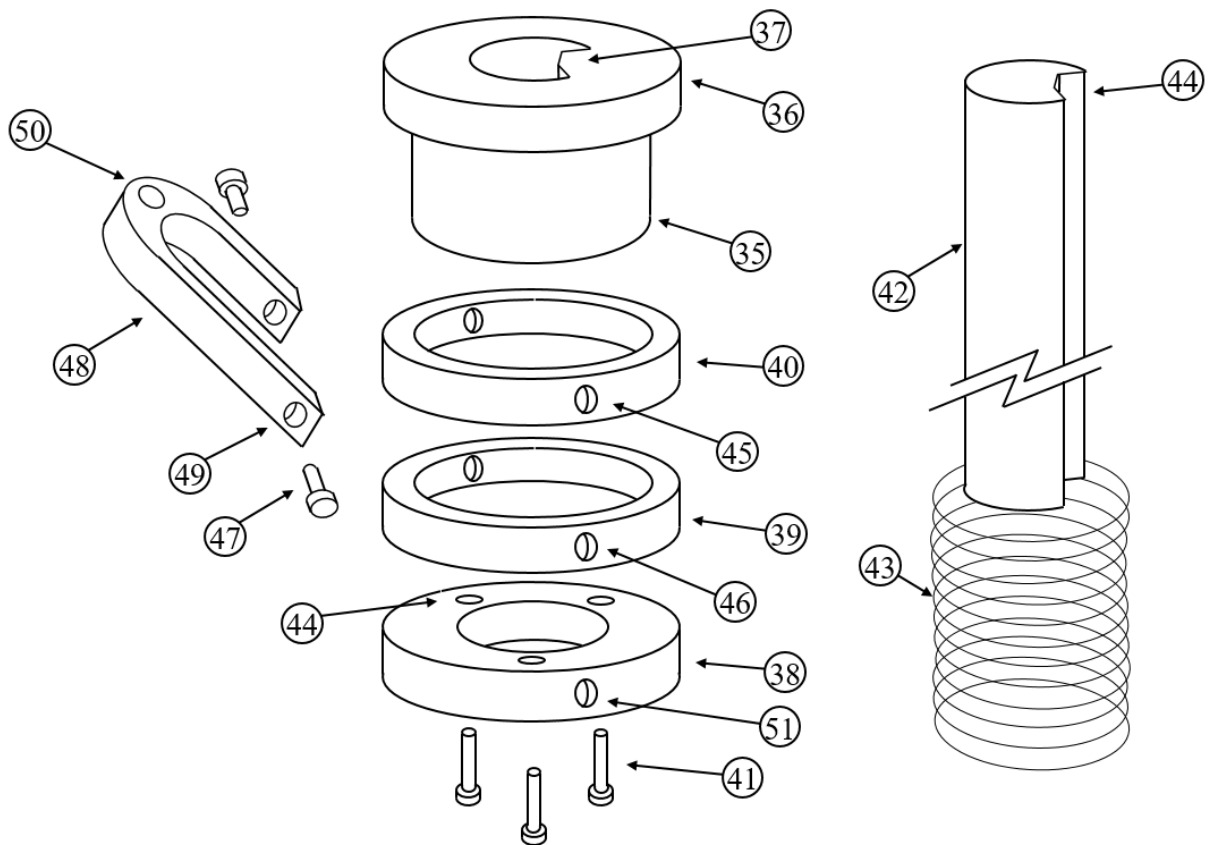


**Fig 5**

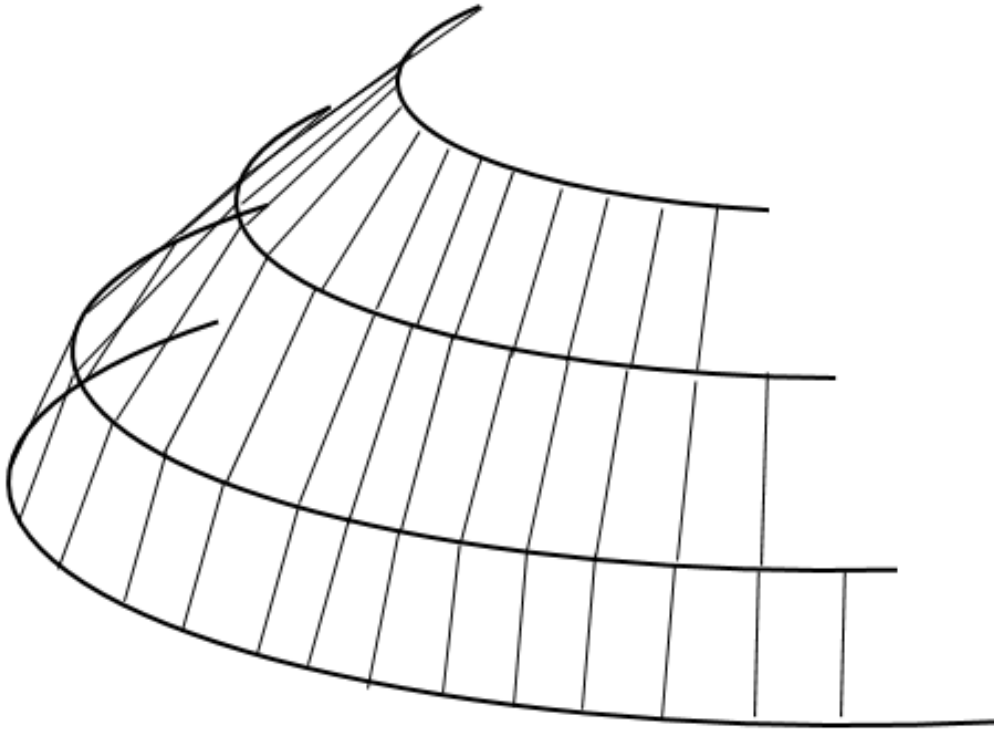


**Fig 6**





**Fig 7**



**Fig 8**



- ②① N.º solicitud: 201830629  
②② Fecha de presentación de la solicitud: 22.06.2018  
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **B25J9/00** (2006.01)  
**B25J11/00** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	FRAUNHOFER IPA, STUTTGART, GERMANY. IP Anema - a high dynamic parallel cable robot. 03/11/2009. Recuperado de Internet <URL: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=RCa8uDFzbsw">https://www.youtube.com/watch?v=RCa8uDFzbsw</a> >	1 - 4
A	BARBAZZA L et al. Trajectory planning of a suspended cable driven parallel robot with reconfigurable end effector. ROBOTICS AND COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS BV., BARKING, GB. Chen F Frank, 30/11/0002, Vol. 48, Páginas 1 - 11, ISSN 0736-5845, <DOI: doi:10.1016/j.rcim.2017.02.001>	1 - 4
A	CN 101602209 A (UNIV BEIHANG) 16/12/2009, Página 5 - 9; Fig. 1, 7	1 - 4
A	US 2009066100 A1 (BOSSCHER PAUL M et al.) 12/03/2009, página 7, párrafo 71 y 72; Fig. 10, 11	1 - 4
A	MIERMEISTER P et al. An elastic cable model for cable-driven parallel robots including hysteresis effects. Mechanisms and Machine Science 2015 Kluwer Academic Publishers nld. , 30/11/2014, Vol. 32, Páginas 17 - 28, ISSN 2211-0984 (print) ISSN 2211-0992 (electronic) ISBN 978-3-319-09488-5 (electronic), <DOI: doi:10.1007/978-3-319-09489-2_2>	1 - 4

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia  
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría  
A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita  
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud  
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
02.10.2018

Examinador  
J. Á. Vinagre Álvarez

Página  
1/2

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

B25J

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI