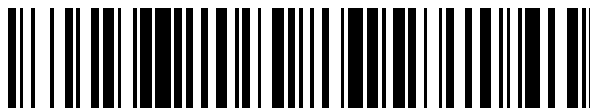


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 547 030**

21 Número de solicitud: 201400773

51 Int. Cl.:

A61B 19/00

(2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

22 Fecha de presentación:

25.09.2014

43 Fecha de publicación de la solicitud:

30.09.2015

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

22.12.0015

Fecha de la concesión:

06.06.2016

45 Fecha de publicación de la concesión:

13.06.2016

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE MÁLAGA (100.0%)
C/ Severo Ochoa, 4 (Parque Tecnológico de
Andalucía)
29590 Campanillas (Málaga) ES**

72 Inventor/es:

**RIVAS BLANCO, Irene;
MUÑOZ MARTÍNEZ, Víctor Fernando;
DEL SAZ-OROZCO HUANG, Pablo;
GARCÍA MORALES, Isabel;
CUEVAS RODRÍGUEZ, María;
ESTÉBANEZ CAMPOS, Belén y
BAUZANO NÚÑEZ, Enrique**

54 Título: **Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva de puerto único capaz de acomodar su movimiento a la anatomía de la pared abdominal**

57 Resumen:

Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva de puerto único con mecanismo de orientación activa capaz de acomodar su movimiento a la anatomía de la pared abdominal que comprende un robot extra-abdominal, que a su vez comprende un efector final que, mediante campos magnéticos, permite posicionar y orientar un dispositivo médico para uso intra-abdominal. El robot extra-abdominal comprende además un controlador software capaz de implementar un método para el guiado automático del dispositivo médico para uso intra-abdominal que permite su adaptación a la anatomía de la pared abdominal; y un sistema interfaz de comunicación y control que permite ordenar las acciones deseadas al sistema. Preferentemente, el sistema comprende además un dispositivo médico para uso intra-abdominal, más preferentemente un robot intra-abdominal dotado de un módulo que permite posicionar y orientar un dispositivo médico acoplado o comprendido en el robot intra-abdominal consistente preferentemente en un sistema de visión endoscópica.

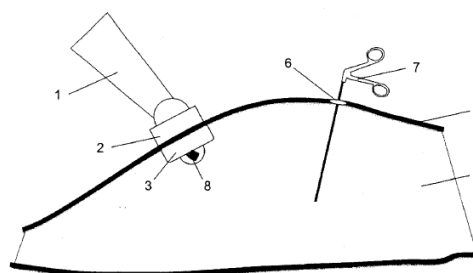


Fig. 1

ES 2 547 030 B2

DESCRIPCIÓN

Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva de puerto único capaz de acomodar su movimiento a la anatomía de la pared abdominal.

SECTOR TÉCNICO

5

La presente invención pertenece a los sectores de la cirugía y la robótica, concretamente al de los sistemas de apoyo a la práctica quirúrgica, y con mayor precisión a los sistemas robóticos especialmente diseñados como instrumentos quirúrgicos.

10 ESTADO DE LA TÉCNICA

Las operaciones quirúrgicas mediante técnicas laparoscópicas consisten en realizar la intervención a través de pequeñas incisiones en el abdomen del paciente. A través de estas incisiones se hacen pasar los instrumentos requeridos por la operación en concreto, así como la óptica de una cámara que permite al cirujano obtener realimentación visual de la zona en la que se realiza la intervención. Dentro de este tipo de intervenciones, las técnicas de puerto único consisten en reducir el número de incisiones a una, en la que se coloca un trocar multipuerto que permite la inserción de 3 ó 4 instrumentos. Estos procedimientos, pese a ser menos invasivos para los pacientes, añaden dificultades adicionales para los cirujanos que empeoran su destreza a la hora de realizar un procedimiento quirúrgico. De un lado, al introducirse la cámara a través del mismo puerto de entrada que los instrumentos quirúrgicos, se produce una pérdida de triangulación que se traduce en una pérdida de sensación de profundidad en la imagen transmitida por el endoscopio. Además, la destreza de los cirujanos se ve disminuida debido a la cercanía de las herramientas que deben trabajar, y a la presencia de un asistente que debe manejar el endoscopio desde el mismo puerto de entrada.

Con objeto de flexibilizar el movimiento del endoscopio se han propuesto algunas soluciones que hacen uso de elementos flexibles para dotar a los instrumentos de mayor capacidad de movimiento, como por ejemplo en US 2006/0178556 ó US 2014/0155697. Pese a que con este tipo de dispositivos se aumenta el campo de visión del endoscopio, éste sigue ocupando un puerto de entrada.

En US8360972 se presenta un dispositivo que proporciona un sistema de puertos virtuales que se pueden desplazar por la pared abdominal o adherirse a órganos de la

cavidad abdominal mediante interacción magnética, anclajes mecánicos (haciendo uso de agujas o clips), adhesivos o de succión. Estos puertos virtuales permiten la adhesión de instrumentos quirúrgicos, pero no proporcionan mecanismos activos de orientación de dichos instrumentos quirúrgicos, como podría ser un endoscopio.

5 En CA 2678610 se presenta un dispositivo que incluye una consola de teleoperación que consta de una pantalla y un dispositivo de manipulación, y un robot intra-abdominal que consta de una cámara y dos componentes que incorporan herramientas en su extremo. Dicho robot intra-abdominal se adhiere a la pared abdominal mediante interacción magnética con la consola de teleoperación. Sin embargo, este
10 dispositivo no presenta mecanismos de orientación activa de la cámara que permita ampliar el campo de visión de la misma.

 En WO 2012/035157 se presenta un endoscopio intra-abdominal adherido a la pared abdominal mediante interacción magnética. El dispositivo intra-abdominal consta de dos elementos unidos mediante un elemento flexible. El primero de ellos constituye el
15 anclaje del dispositivo a la pared abdominal y dota al conjunto de estabilidad, mientras que el segundo elemento incorpora un sistema de visión en su extremo. Dicho elemento presenta un grado de libertad de rotación, mediante la rotación (llevada a cabo manualmente) de un elemento magnético exterior y un grado de libertad de inclinación, actuado mediante un motor electromagnético que se opera desde el exterior de la cavidad
20 abdominal mediante la aplicación de campos magnéticos de intensidad y orientación variables. El cambio en la inclinación del sistema de visión supone un movimiento lineal completo del elemento móvil del dispositivo intra-abdominal, lo que implica un acercamiento del sistema de visión al área de trabajo. El dispositivo se alimenta mediante corriente eléctrica externa introducida mediante un cable, que se introduce en la cavidad
25 abdominal a través de uno de los puertos de entrada. La necesidad de introducir un cable en la cavidad abdominal puede dificultar la maniobrabilidad del instrumental quirúrgico por parte del cirujano.

Resumiendo, el estado de la técnica presenta las siguientes limitaciones:

1. Los dispositivos que incorporan endoscopios intra-abdominales se controlan
30 manualmente mediante manipulación directa de un elemento extra-abdominal, lo que requiere la presencia de un asistente que maneje dicho elemento.
2. La manipulación del elemento extra-abdominal mediante un brazo robótico requiere que éste acomode su movimiento a la anatomía de la cavidad abdominal con el objeto

- de no dañar al paciente ejerciendo fuerzas indeseadas sobre la pared abdominal. La anatomía de la pared abdominal constituye un parámetro desconocido y de naturaleza variable, no sólo entre diferentes pacientes, sino también entre diferentes puntos de la constitución de cada paciente. En el estado de la técnica no existen dispositivos que sean capaces de mover el elemento extra-abdominal acomodando su movimiento a la anatomía de la cavidad abdominal de los pacientes.
3. No existen dispositivos que sean capaces de mover el elemento extra-abdominal controlando y adaptando la fuerza ejercida por el mismo sobre la pared abdominal de los pacientes.
 4. El cambio en la inclinación del sistema de visión mediante elementos móviles (como el presentado en WO 2012/035157) implica un acercamiento de la cámara a los órganos, lo que reduce el campo de visión de la misma.
 5. El cambio en la inclinación del sistema de visión mediante elementos móviles (como el presentado en WO 2012/035157) requiere de un espacio de trabajo dentro de la cavidad abdominal de cómo mínimo la longitud del elemento móvil, lo que puede implicar la necesidad de introducir una mayor cantidad de CO₂ en los pacientes con objeto de aumentar el espacio de trabajo del dispositivo.
 6. No existen sistemas de visión intra-abdominales con mecanismo de orientación activa que no impliquen la necesidad de una fuente de alimentación externa que requieren la ocupación de un puerto de entrada con sistemas de cableado.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

El presente documento describe un sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva, en particular, en técnicas de puerto único, sin la necesidad de utilizar un puerto de entrada, lo que permite liberar un puerto de entrada, y capaz de acomodar su movimiento a la anatomía de la pared abdominal, permitiendo el desplazamiento de un dispositivo médico, preferentemente robot intra-abdominal dotado de un sistema de visión endoscópica, a lo largo de la pared abdominal de forma segura para el paciente.

El sistema comprende un robot extra-abdominal, que a su vez comprende un efector final que puede ser fijo o removible. El robot extra-abdominal comprende, además del (i) efector final que, mediante campos magnéticos, permite posicionar y

orientar un dispositivo médico para uso intra-abdominal; (ii) un controlador software capaz de implementar un método para el guiado automático del dispositivo médico para uso intra-abdominal y que permite su adaptación a la anatomía de la pared abdominal; y (iii) un sistema interfaz de comunicación y control que permite ordenar las acciones
5 deseadas al sistema. El controlador del robot extra-abdominal es capaz de realizar el desplazamiento del efector final siguiendo la anatomía de la pared abdominal del paciente, de manera que se asegure un desplazamiento suave y la continuidad del acople magnético entre el robot extra-abdominal y el robot intra-abdominal, y controlando la fuerza ejercida sobre la misma, evitando posibles daños sobre el paciente. Para ello, el
10 sistema, particularmente el robot extra-abdominal, comprende un sensor de fuerza / momento.

Más preferentemente, el sistema comprende además un dispositivo médico para uso intra-abdominal, preferentemente un robot intra-abdominal, dotado de un módulo que permite posicionar y orientar un dispositivo médico acoplado o comprendido en el
15 robot intra-abdominal, dispositivo médico consistente preferentemente en un sistema de visión endoscópica, que puede ser, como en el caso del efector final del robot extra-abdominal, fijo o removible. El mecanismo de posicionamiento del robot intra-abdominal se realiza mediante campos magnéticos, lo que permite el desplazamiento libre del mismo a lo largo de la pared abdominal mediante el desplazamiento del efector final del
20 robot extra-abdominal. Dicho desplazamiento se realiza de forma automática en función de las acciones ordenadas a través del sistema interfaz.

El sistema comprende un mecanismo de orientación activa de dos grados de libertad basada en campos magnéticos, actuado mediante el robot extra-abdominal, que permite girar e inclinar el dispositivo médico comprendido en el robot intra-abdominal,
25 preferentemente un sistema de visión endoscópica. Preferentemente, el sistema comprende un tercer grado de libertad, correspondiente al movimiento de acercamiento/alejamiento, que se realiza mediante software, por ejemplo a través de la implementación del zoom de los sistemas de visión endoscópica convencionales.

En una realización preferida, el dispositivo médico comprendido en el robot intra-
30 abdominal es un sistema de visión endoscópica, dicho sistema dotado de tres grados de libertad, dos de ellos activos (giro y orientación) y un tercero actuado mediante software (acercamiento o zoom), lo que permite obtener un campo de visión completo del interior

de la cavidad abdominal. Además se recupera la triangulación entre el sistema de visión endoscópica y el instrumental quirúrgico en las técnicas de puerto único.

En una realización preferida, el robot intra-abdominal comprende una fuente de alimentación eléctrica mediante baterías, evitando la necesidad de cableado desde el exterior de la cavidad abdominal.

BREVE EXPLICACIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1: esquema general del sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva de puerto único capaz de acomodar su movimiento a la anatomía de la pared abdominal

Figura 2: esquema del robot intra-abdominal

Figura 3: detalle de la parte inferior del robot intra-abdominal

Figura 4: esquema del efector final

Figura 5: detalle del mecanismo de orientación de la cámara.

Figura 6: detalle de los sistemas de referencia del sistema robótico y el entorno

Figura 7: esquema general del controlador

Figura 8: detalle del control híbrido fuerza-posición

Figura 9: detalle del módulo de compensación de pares

Figura 10: diagrama de bloques del sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva de puerto único capaz de acomodar su movimiento a la anatomía de la pared abdominal

MODOS DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

La constitución y características de la invención se comprenderán mejor con ayuda de la siguiente descripción de ejemplos de realización, debiendo entenderse que la invención no queda limitada a estas realizaciones, sino que la protección abarca todas aquellas realizaciones alternativas que puedan incluirse dentro del contenido y del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

En la Figura 1 se muestra el esquema general de un sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva de puerto único capaz de acomodar su movimiento a la anatomía de la pared abdominal conforme a la invención, y que comprende un robot

extra-abdominal 1 con un efector final 2 especialmente diseñado para posicionar y orientar un sistema de visión endoscópica 8 de un robot intra-abdominal 3. El robot intra-abdominal 3 se introduce en la cavidad abdominal 4 a través del puerto de entrada 6, por el que se introduce el instrumental quirúrgico 7, y se fija a la pared abdominal 5 mediante interacción magnética con el efector final 2. El desplazamiento del efector final 2 produce un desplazamiento de igual magnitud y sentido del robot intra-abdominal 3, permitiendo posicionarlo en cualquier punto de la pared abdominal 5, de manera que mediante este sistema se permite obtener un mayor campo de visión que con un endoscopio convencional, cuyo movimiento se encuentra restringido por el punto de fulcro.

El robot intra-abdominal 3 (Figuras 2 y 3) comprende un sistema de visión endoscópica 8, en particular una cámara capaz de transmitir las imágenes a un receptor exterior de forma inalámbrica; un sistema de iluminación que comprende un conjunto de 6 LEDs 9, 10, 11, 12, 13, 14; dos imanes permanentes 16, 17; y un módulo 26 para la orientación de la cámara mediante campos magnéticos. La cámara se encuentra protegida mediante una cúpula 15 de material transparente, que evita un posible contacto con los órganos del paciente. El sistema de visión endoscópica y el sistema de iluminación se alimentan mediante un conjunto de 6 baterías recargables 20, 21, 22, 23, 24, 25 de 1.5 voltios cada una, que se activan y desactivan mediante un interruptor 19. Dichas baterías se cargan mediante el interruptor 18.

El efector final 2 del robot extra-abdominal 1 (Figura 4) comprende un componente 27 y un componente 34. El componente 27 se acopla al extremo del robot extra-abdominal 1, en el que se dispone de un sensor de fuerza/momento 50 de seis grados de libertad, mediante un sistema de rosca 28. La rotación de este componente se realiza mediante la rotación de la última articulación del robot extra-abdominal 1, tal como indica la flecha 40. El mecanismo de acoplamiento entre los componentes 27 y 34 se realiza introduciendo los módulos 29 y 30 del componente 27 en los módulos 35 y 36 del componente 34, respectivamente, de manera que ambos componentes quedan perfectamente acoplados, por lo que la rotación o desplazamiento del componente 27 provoca una rotación o desplazamiento solidario del componente 34. Dicho mecanismo de acoplamiento permite desacoplar ambos componentes, permitiendo desplazar o rotar el componente 34 de forma independiente. De esta manera se dota de flexibilidad al sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva, incorporando la opción

de utilizar únicamente el robot intra-abdominal 3 junto con el componente 34, en lugar del sistema completo. El componente 27 contiene un motor lineal 33, que produce el desplazamiento del módulo 31 en el sentido indicado por la flecha 41. El módulo 31 contiene un imán permanente 32 adherido a su parte inferior, de manera que, cuando los
 5 componentes 27 y 34 se encuentran acoplados, se atrae magnéticamente al imán permanente 39, provocando un desplazamiento del mismo, según la flecha 42, solidario con el desplazamiento del módulo 31 provocado por la actuación del motor lineal 33. La interacción magnética entre el componente 34 y el robot intra-abdominal 3 se realiza mediante la alineación de los imanes permanentes 37 y 38 con los imanes permanentes
 10 16 y 17, respectivamente, quedando únicamente separados por la pared abdominal 5 del paciente.

La figura 5 muestra un detalle de módulo 26 que permite el cambio de orientación del sistema de visión 8. Dicho módulo se acopla al robot intra-abdominal 3 mediante los ejes de giro 45 y 46, y al sistema de visión endoscópica 8 mediante los elementos 47 y 48
 15 de manera que el giro de dicho módulo 26 provoca un giro solidario del sistema de visión endoscópica 8. El módulo 26 contiene un imán permanente cilíndrico 43, en cuyo extremo superior se encuentra adherido el imán permanente esférico 44. Cuando el componente 34 y el robot intra-abdominal 3 se encuentran acoplados magnéticamente mediante los imanes permanentes laterales 16, 17, 37 y 34, el imán permanente 44 queda
 20 atraído por el imán permanente 39, de manera que el desplazamiento del imán permanente 39 en la dirección de la flecha 42 produce un desplazamiento solidario del imán permanente 44 en la dirección indicada por la flecha 49, provocando el giro del módulo 26, y por tanto del sistema de visión endoscópica 8, alrededor de los ejes de giro 45 y 46. El desplazamiento del robot intra-abdominal 3 a lo largo de la pared abdominal
 25 5 se realiza mediante el desplazamiento del efector final 2 del robot extra-abdominal 1. Para que dicho desplazamiento se realice de forma segura para el paciente es necesario controlar la fuerza ejercida por el efector final 2 sobre la pared abdominal y la perpendicularidad del mismo respecto a la superficie de la pared abdominal, con objeto de que la distribución de fuerzas sea uniforme en el área de contacto así como reducir el
 30 riesgo de una posible pérdida de interacción magnética entre el efector final 2 y el robot intra-abdominal 3. Para ello, es necesario que el controlador del sistema sea capaz de identificar tanto el plano tangente a la pared abdominal 5 en el punto de contacto, como

la dirección normal a la misma, dado que la pared abdominal 5 de un paciente es un entorno variable y desconocido a priori por el sistema.

La figura 6 muestra los sistemas de referencia del sistema robótico y del entorno, donde $\{X_n, Y_n, Z_n\}$ representa el sistema de referencia de la n-ésima articulación 51 del robot extra-abdominal 1, $\{X_E, Y_E, Z_E\}$ representa el sistema de referencia del efector final 2, que coincide con el sistema de referencia anterior cuando este se encuentra acoplado al robot extra-abdominal 1, y $\{X, Y, Z\}$ representa el sistema de referencia de la pared abdominal 5 en el punto de contacto del efector final 2. El controlador capaz de acomodar el movimiento del efector final 2 a la anatomía de la cavidad abdominal comprende un módulo de compensación de pares gravitatorios y un control híbrido de fuerza-posición. El módulo de compensación de pares se encarga de mantener el efector final 2 perpendicular a la pared abdominal 5 en el punto de contacto, permitiendo coincidir los sistemas de referencia del efector final 2 y de la pared abdominal 5 en el punto de contacto. De esta manera, el control híbrido fuerza-posición, encargado de generar las consignas de movimiento del robot extra-abdominal 1 en las tres direcciones del espacio, es capaz de desacoplar el movimiento en la dirección Z, en la que se generan las fuerzas de contacto sobre la pared abdominal 5 del paciente, y en el plano X-Y, en el que se generarán las consignas de desplazamiento. Dicho desacople permite un desplazamiento suave del efector final 2 sobre la pared abdominal 5, asegurando una distribución de fuerzas constante en el plano X-Y, y asegurando la correcta interacción magnética entre el efector final 2 y el robot intra-abdominal 3.

La figura 7 muestra el esquema general del controlador capaz de controlar la fuerza ejercida por el efector final 2 sobre el paciente y acomodar su movimiento a la anatomía de la pared abdominal 5. El controlador recibe las consignas de fuerza, desplazamiento y par deseadas del efector final 2, a través de un componente supervisor que se encarga de transformar las órdenes del usuario en las consignas de fuerza, desplazamiento y par previamente mencionadas. Un control híbrido fuerza-posición se encarga de transformar las consignas de movimiento y fuerza en consignas de posición del robot extra-abdominal 1, cuyo movimiento es solidario al movimiento del efector final 2, mientras que un módulo de compensación de pares se encarga de transformar la consigna de par deseado en el efector final 2 en una consigna de orientación del mismo. Dado que el objeto del módulo de compensación de pares es mantener el efector final 2 perpendicular a la pared abdominal 5, y por tanto, en la dirección Z, se debe mantener

una distribución de fuerzas en el efector final 2 uniforme, de modo que el par generado debido a la interacción entre el efector final 2 y el entorno debe ser nulo. De ahí que la consigna de par deseado se debe establecer con valor nulo en las tres direcciones del espacio. Dado que para el correcto desplazamiento del efector final 2 es necesario
 5 asegurar la perpendicularidad del mismo a la pared abdominal 5, el módulo de compensación de pares se implementa con un tiempo de muestreo lo suficientemente menor al tiempo de muestreo del control híbrido fuerza-posición de manera que se asegure que la orientación del efector final es correcta antes de enviar una nueva consigna de posición al robot extra-abdominal 1.

10 La figura 8 muestra el esquema del control híbrido fuerza-posición, que recibe las consignas de desplazamiento y fuerza deseadas, y envía al robot una única consigna de posición en las tres direcciones del espacio. Tal y como se ha mencionado anteriormente, dado que el efector final 2 se encuentra perpendicular a la pared abdominal 5 gracias al módulo de compensación de pares gravitatorios, es posible desacoplar en el espacio
 15 cartesiano las consignas de fuerza y desplazamiento mediante las matrices D e I-D, de manera que el control de posición y el control de fuerza actúan en paralelo. El control de fuerza transforma la consigna de la fuerza que se deseada ejercer sobre la pared abdominal 5 del paciente, en una consigna de posición en la dirección Z (perpendicular a la pared abdominal 5). Para ello, se asume un modelo de interacción elástico entre el
 20 efector final 2 y la pared abdominal 5, de constante elástica K_x . La constante elástica es un valor a priori desconocido por el sistema, y variable de paciente a paciente así como para diferentes puntos de contacto, es decir, para un mismo paciente, la constante elástica K_x no es un valor constante en toda la superficie de la cavidad abdominal, de manera que su valor debe calcularse on-line durante el procedimiento en el que se utilice el sistema
 25 robótico descrito en la presente patente. La estimación de la constante elástica K_x se realiza haciendo uso del algoritmo de mínimos cuadrados recurrentes, que permite actualizar el valor de dicha constante a partir de medidas de fuerza y posición del robot extra-abdominal 1 obtenidas durante el funcionamiento del mismo. De este modo, el valor de la constante elástica K_x se calcula mediante la siguiente ecuación:

30

$$K_x(t+1) = K_x(t) + R(t)(\Delta F_z(t+1) - \Delta P_z(t+1)K_x(t))$$

donde $K_x(t)$ y $K_x(t+1)$ representan el valor de la constante elástica en dos instantes de tiempo consecutivos, $\Delta F_z(t+1)$ representa el incremento de fuerza obtenido por el sensor de fuerza/momento 50 en la dirección Z en el instante $t+1$, $\Delta P_z(t+1)$ representa el incremento de posición del robot extra-abdominal 1 en la dirección Z en el instante $t+1$, y $R(t)$ es una constante calculada mediante la siguiente expresión:

$$R(t) = \frac{Q(t)\Delta P_z(t+1)}{1 + (\Delta P_z(t+1))^2 Q(t)}$$

donde $Q(t)$ es una constante que se actualiza mediante:

$$Q(t+1) = \frac{Q(t)}{1 + (\Delta P_z(t+1))^2 Q(t)}$$

10

La figura 9 muestra el esquema de control del módulo de compensación de pares gravitatorios, que tiene como consigna de entrada un valor nulo del momento deseado y genera la consigna de orientación del robot extra-abdominal 1 de manera que el efector final 2 se mantenga perpendicular a la pared abdominal 5 en su punto de contacto 51 (Figura 10). Cuando se produce el contacto del efector final 2 con la pared abdominal 5, la dirección de la fuerza ejercida por el primero sobre el segundo es siempre perpendicular a la superficie de contacto (pared abdominal 5), tal y como indica la flecha 52 de la Figura 10, por lo que la dirección de la fuerza obtenida mediante la lectura del sensor fuerza/momento 50 proporciona la dirección del eje Z. Si el efector final 2 se encuentra perpendicular a la pared abdominal 5, el momento generado en su superficie será nulo, y por lo tanto, los ejes Z_E y Z serán paralelos. Sin embargo, en una situación como la descrita en la Figura 10, en la que no se produce tal perpendicularidad, los ejes Z_E y Z no son paralelos, formando entre ellos un ángulo α . El objeto del módulo de compensación de pares es proporcionar una consigna de orientación que haga nulo el ángulo α , de manera que ambos ejes sean paralelos. El bloque modelo geométrico calcula el valor del ángulo α como el ángulo formado entre el eje Z_E (paralelo al eje Z_n del robot extra-abdominal) y el vector de fuerza obtenido mediante la lectura del sensor fuerza/momento 50, así como el eje de giro sobre el que se debe realizar el giro del robot extra-abdominal 1 para colocarse en la situación perpendicular deseada comentada

anteriormente. Dicho eje de giro corresponde con el vector opuesto al vector de momento obtenido por el sensor fuerza/momento 50.

La Figura 11 muestra el diagrama de bloques del sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva de puerto único capaz de acomodar su movimiento a la anatomía de la pared abdominal. Dicho diagrama, que presenta una arquitectura jerárquica, está compuesto de un componente supervisor que transforma las órdenes emitidas por el usuario y recibidas a través del sistema de interfaz, en consignas de movimiento del robot extra-abdominal 1 y consignas de movimiento del motor lineal 33 (que provocan un cambio en la orientación del sistema de visión 8 según el mecanismo de interacción magnética descrito anteriormente), y el controlador previamente descrito. El controlador actúa directamente sobre el robot extra-abdominal 1, que gracias al mecanismo de interacción magnética con el robot intra-abdominal 3 a través del efector final 2, modifica la posición del robot intra-abdominal 3. El sistema de visión endoscópica 8 transmite las imágenes de forma inalámbrica a un sistema receptor, que a su vez, envía al sistema de interfaz, preferiblemente a una pantalla, de manera que el usuario sea capaz de visionar las imágenes recogidas por el sistema de visión endoscópica 8 en tiempo real. Las comunicaciones entre los diferentes elementos de la arquitectura representada en la Figura 11 se realizan, preferiblemente, mediante el sistema operativo ROS, pudiéndose emplear otros sistemas de comunicación.

Como medios de entrada de órdenes, en la realización preferida del sistema se cuenta con un joystick o palanca y un micrófono, preferiblemente inalámbrico (aunque también puede ser convencional), que porta el usuario. Pero también pueden disponerse otros medios de entrada, como una pantalla táctil adosada a la estructura del robot extra-abdominal 1 mediante un mecanismo articulado que permita al usuario situarla en la posición más conveniente. En esta pantalla se presenta la imagen laparoscópica, y superpuesta a ella puede mostrarse información de diverso tipo, como marcas de ayuda a la intervención, estado del sistema, información relativa al funcionamiento de otros equipos (que también pueden controlarse desde la pantalla táctil), u otra información que se considere de interés.

REIVINDICACIONES

1. Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva de puerto único capaz de acomodar su movimiento a la anatomía de la pared abdominal caracterizado por comprender:
 - o un robot extra-abdominal 1 que, a su vez, comprende un efector final 2 que permite posicionar y orientar un dispositivo médico para uso intra-abdominal mediante interacción magnética, de forma que el desplazamiento del efector final 2 determina un movimiento de igual magnitud y sentido del dispositivo médico para uso intra-abdominal;
 - o un controlador software capaz de implementar un método para el guiado automático del dispositivo médico para uso intra-abdominal y que permite su adaptación a la anatomía de la pared abdominal 5; y
 - (iii) un sistema interfaz de comunicación y control que permite ordenar las acciones deseadas al sistema; y
 - o un sensor de fuerza / momento 50 en el extremo inferior del robot extra-abdominal 1 que permite al controlador del robot extra-abdominal realizar el desplazamiento del efector final 2 siguiendo la anatomía de la pared abdominal 5 del paciente, de manera que se asegure un desplazamiento suave y la continuidad del acople magnético entre el robot extra-abdominal 1 y el dispositivo para uso intra-abdominal, y controlando la fuerza ejercida sobre la misma, evitando posibles daños sobre el paciente.
2. Sistema según la reivindicación anterior caracterizado por que el sensor de fuerza / momento 50 presenta seis grados de libertad.
3. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que el controlador software capaz de implementar un método para el guiado automático del dispositivo médico para uso intra-abdominal y que permite su adaptación a la anatomía de la pared abdominal 5 comprende (i) un módulo de compensación de pares que permite mantener el efector final 2 perpendicular a la pared abdominal 5 en el punto de contacto, permitiendo coincidir los sistemas de referencia del efector final 2 y de la pared abdominal 5 en el punto de contacto; y (ii) un control híbrido fuerza-posición que permite generar las consignas de

movimiento del robot extra-abdominal 1 en las tres direcciones del espacio, y que permite desacoplar el movimiento en la dirección Z, en la que se generan las fuerzas de contacto sobre la pared abdominal 5, y en el plano X-Y, en el que se generarán las consignas de desplazamiento, dicho desacoplamiento permitiendo un desplazamiento suave del efector final 2 sobre la pared abdominal 5, asegurando una distribución de fuerzas constante en el plano X-Y, y asegurando la correcta interacción magnética entre el efector final 2 y el robot intra-abdominal 3.

4. Sistema según la reivindicación anterior caracterizado por que el control híbrido fuerza-posición transforma la consigna de la fuerza que se deseada ejercer sobre la pared abdominal 5 del paciente, en una consigna de posición en la dirección Z (perpendicular a la pared abdominal 5) asumiendo un modelo de interacción elástico entre el efector final 2 y la pared abdominal 5, de constante elástica K_x , dicha transformación comprendiendo el cálculo la constante elástica K_x .

5. Sistema según la reivindicación anterior caracterizado por que el cálculo la constante elástica K_x se realiza haciendo uso del algoritmo de mínimos cuadrados recurrentes (que permite actualizar el valor de dicha constante a partir de medidas de fuerza y posición del robot extra-abdominal 1 obtenidas durante el funcionamiento del mismo), mediante la ecuación:

$$K_x(t+1) = K_x(t) + R(t)(\Delta F_z(t+1) - \Delta P_z(t+1)K_x(t))$$

donde $K_x(t)$ y $K_x(t+1)$ representan el valor de la constante elástica en dos instantes de tiempo consecutivos, $\Delta F_z(t+1)$ representa el incremento de fuerza obtenido por el sensor de fuerza/momento 50 en la dirección Z en el instante t+1, $\Delta P_z(t+1)$ representa el incremento de posición del robot extra-abdominal 1 en la dirección Z en el instante t+1, y $R(t)$ es una constante calculada mediante la expresión:

$$R(t) = \frac{Q(t)\Delta P_z(t+1)}{1 + (\Delta P_z(t+1))^2 Q(t)}$$

donde $Q(t)$ es una constante que se actualiza mediante:

$$Q(t+1) = \frac{Q(t)}{1 + (\Delta P_z(t+1))^2 Q(t)}$$

- 5 6. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5 caracterizado por que el módulo de compensación de pares permite proporcionar una consigna de orientación que haga nulo el ángulo α (ángulo entre –i- la dirección de la fuerza ejercida por el efector final 2 sobre la pared abdominal 5, y –ii- la dirección del eje Z, proporcionada por la dirección de la fuerza obtenida mediante la lectura del sensor de fuerza/momento 50), y por tanto los ejes Z_E y Z serán paralelos, calculando para ello el valor del ángulo α como el ángulo formado entre el eje Z_E (paralelo al eje Z_n del robot extra-abdominal) y el vector de fuerza obtenido mediante la lectura del sensor fuerza/momento 50, así como el eje de giro sobre el que se debe realizar el giro del robot extra-abdominal 1 (dicho eje de giro correspondiéndose con el vector opuesto al vector de momento obtenido por el sensor fuerza/momento 50) para colocarse en la situación perpendicular deseada.
- 10 7. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que el efector final 2 comprende un componente 27 que permite su acoplamiento al robot extra-abdominal 1
- 15 8. Sistema según la reivindicación anterior caracterizado por que el componente 27 acopla el efector final 2 al extremo inferior del robot extra-abdominal 1 mediante un sistema de rosca 28.
- 20 9. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 7 u 8 caracterizado por que el efector final 2 comprende además un componente 34 que a su vez comprende medios de interacción magnética que permiten posicionar y orientar un dispositivo médico para uso intra-abdominal mediante interacción magnética.
- 25 10. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9 caracterizado por que los componentes 27 y 34 comprenden los módulos 29 y 30, y los módulos 35 y 36, respectivamente, que permiten su acoplamiento entre sí.
- 30 11. Sistema según la reivindicación anterior caracterizado por que el acoplamiento entre los componentes 27 y 34 es reversible, permitiendo que el componente 34 sea desplazado o rotado de forma independiente y en combinación con un dispositivo para uso intra-abdominal sin participación del resto del sistema.

12. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11 caracterizado por que el componente 27 y el componente 34 comprenden medios de interacción magnética entre sí, dicho componente 27 comprendiendo un motor lineal 33 que permite desplazar un módulo 31, dicho módulo 31 conteniendo los medios de interacción magnética comprendidos en el componente 27 que, cuando los componentes 27 y 34 están acoplados, permiten atraer y desplazar medios de interacción magnética comprendidos en el componente 34.
13. Sistema según la reivindicación anterior caracterizado por que los medios de interacción magnética comprendidos en los componentes 27 y 34 para su interacción entre sí consisten en un imán permante 32 y en un imán permanente 39, respectivamente.
14. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13 caracterizado por que el componente 34 comprende además medios de interacción magnética para su interacción con el dispositivo para uso intra-abdominal, dicho dispositivo comprendiendo igualmente medios de interacción magnética en correspondencia con los comprendidos en el componente 34.
15. Sistema según la reivindicación anterior caracterizado por que la interacción magnética entre el componente 34 y el dispositivo para uso intra-abdominal se realiza mediante la alineación de unos imanes permanentes 37 y 38 con unos imanes permanentes 16 y 17, respectivamente.
16. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por comprender además un dispositivo para uso intra-abdominal.
17. Sistema según la reivindicación anterior caracterizado por que el dispositivo para uso intra-abdominal consiste en un robot intra-abdominal 3 que comprende un módulo 26 que permite posicionar y orientar un dispositivo médico acoplado o comprendido en el robot intra-abdominal 3.
18. Sistema según la reivindicación anterior caracterizado por que el módulo 26 se acopla al robot intra-abdominal 3 mediante unos ejes de giro 45 y 46, y al dispositivo médico acoplado o comprendido en el robot intra-abdominal 3 mediante unos medios de interacción magnética.
19. Sistema según la reivindicación anterior caracterizado por que los medios de interacción magnética que permiten el acoplamiento entre el módulo 26 y el dispositivo médico acoplado o comprendido en el robot intra-abdominal 3

- consisten en un imán permanente cilíndrico 43 y, en el extremo opuesto al módulo 26 de dicho imán permanente 23, un imán permanente esférico 44.
- 5 20. Sistema según la reivindicación anterior caracterizado por que cuando el componente 34 y el robot intra-abdominal 3 se encuentran acoplados magnéticamente, el imán permanente 44 queda atraído por el imán permanente 39 de forma que el desplazamiento del imán permanente 39 produce un desplazamiento solidario del imán permanente 44 provocando el giro del módulo 26, y con él del dispositivo médico acoplado o comprendido en el robot intra-abdominal 3, alrededor de los ejes de giro 45 y 46.
- 10 21. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 20 caracterizado por que el dispositivo médico acoplado o comprendido en el robot intra-abdominal 3 es un sistema de visión endoscópica 8.
- 15 22. Sistema según la reivindicación anterior caracterizado por que el sistema de visión endoscópica 8 consiste en una cámara capaz de transmitir imágenes a un receptor exterior de forma inalámbrica.
23. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 21 a 22 caracterizado por que el sistema de visión endoscópica 8 está protegido por una cúpula transparente que a su vez evita daños en el paciente.
- 20 24. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 21 a 23 caracterizado por que el robot intra-abdominal 3 comprende además un sistema de iluminación, medios de interacción magnética y un módulo 26 para la orientación del sistema de visión endoscópica 8 mediante interacción magnética.
- 25 25. Sistema según la reivindicación anterior caracterizado por que el sistema de iluminación comprende un conjunto de LEDs.
26. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 25 caracterizado por que el robot intra-abdominal 3 comprende una fuente de alimentación eléctrica mediante baterías.
27. Sistema según la reivindicación anterior caracterizado por que las baterías se activan y desactivan mediante un interruptor 19.
- 30 28. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 26 a 28 caracterizado por que las baterías se cargan mediante el interruptor 18.
29. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 28 caracterizado por que comprende un componente supervisor que se encarga de transformar las órdenes

del usuario en las consignas de fuerza, desplazamiento y par deseadas; siendo dichas consignas transformadas por el control híbrido fuerza-posición y el módulo de compensación de pares en consignas de posición y orientación del robot extra-abdominal 1, cuyo movimiento es solidario al movimiento del efector final 2.

5

30. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 28 caracterizado por que comprende un componente supervisor que transforma las órdenes emitidas por el usuario y recibidas a través del sistema de interfaz, en consignas de movimiento del robot extra-abdominal 1 y consignas de movimiento del motor lineal 33.

10

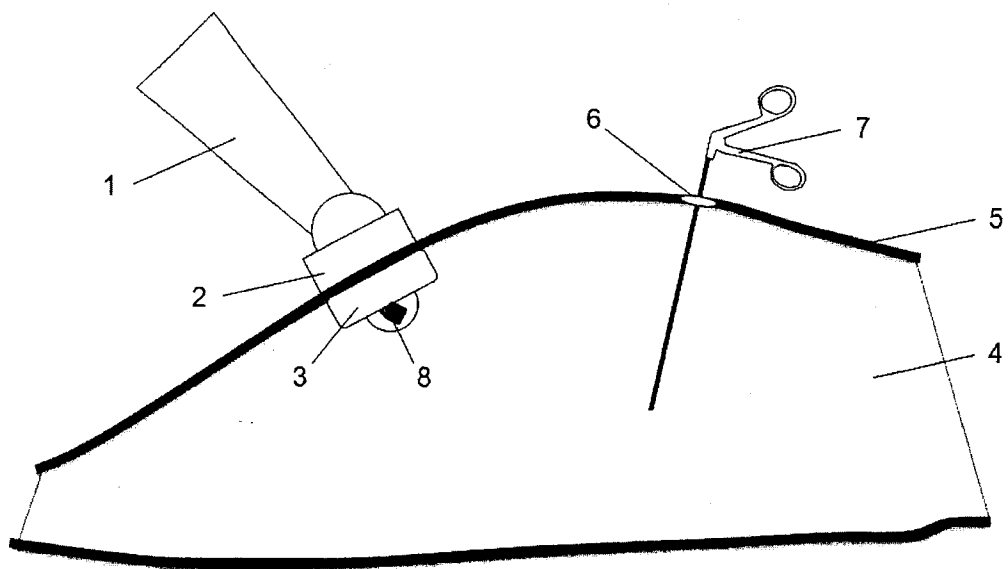


Fig. 1

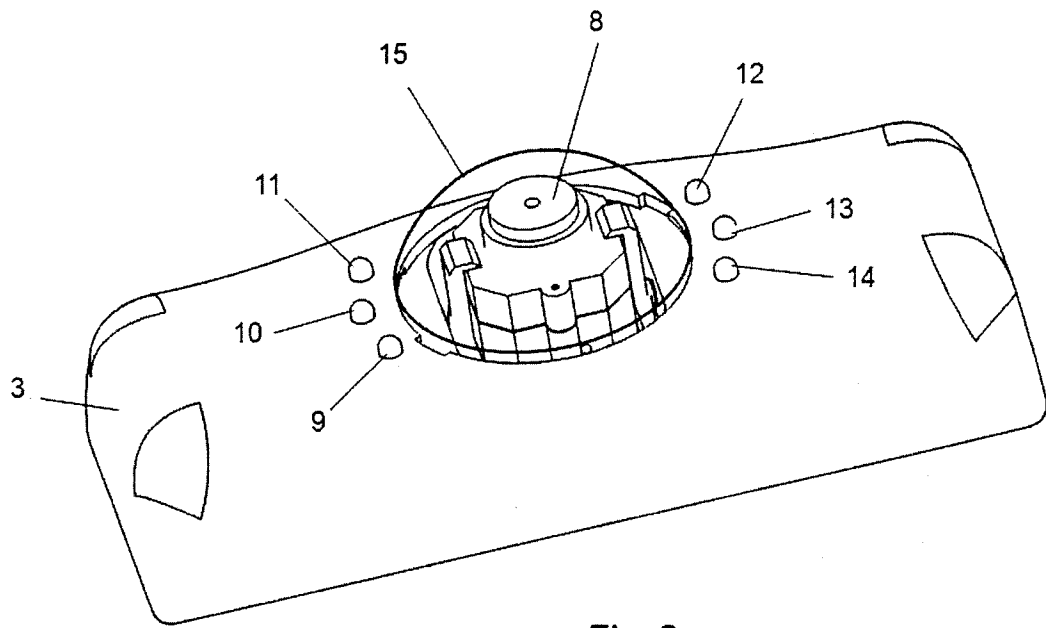


Fig. 2

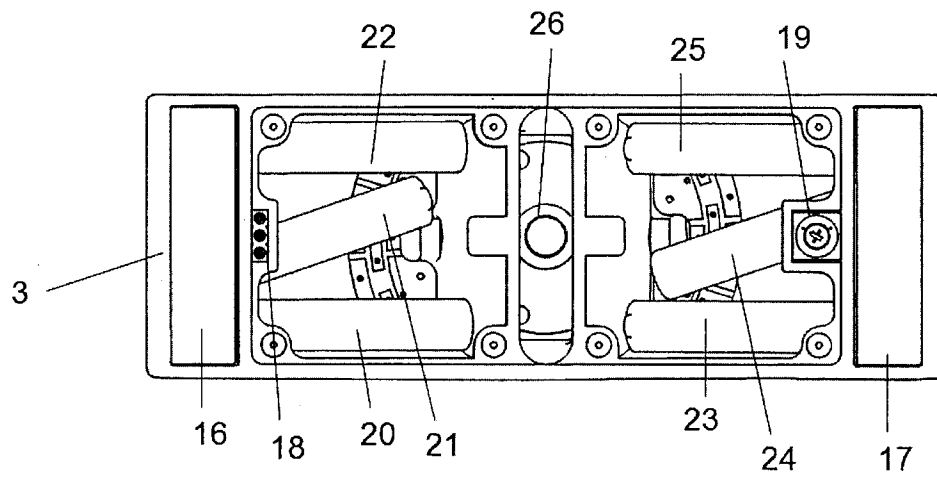


Fig. 3

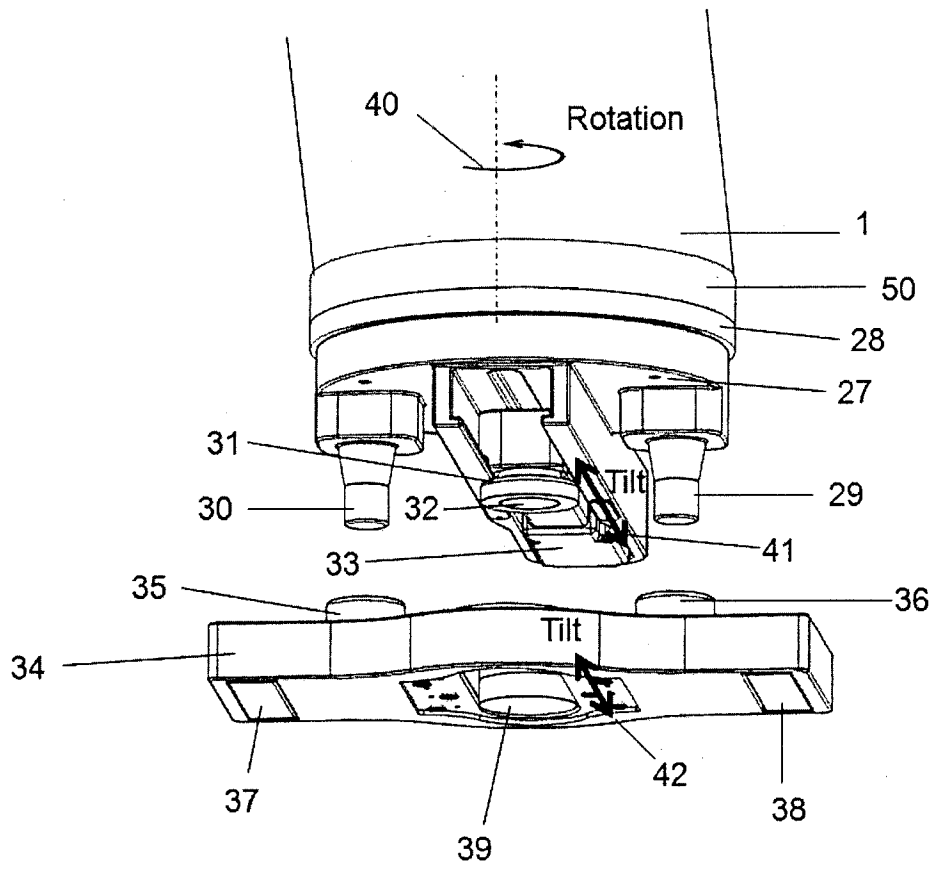


Fig. 4

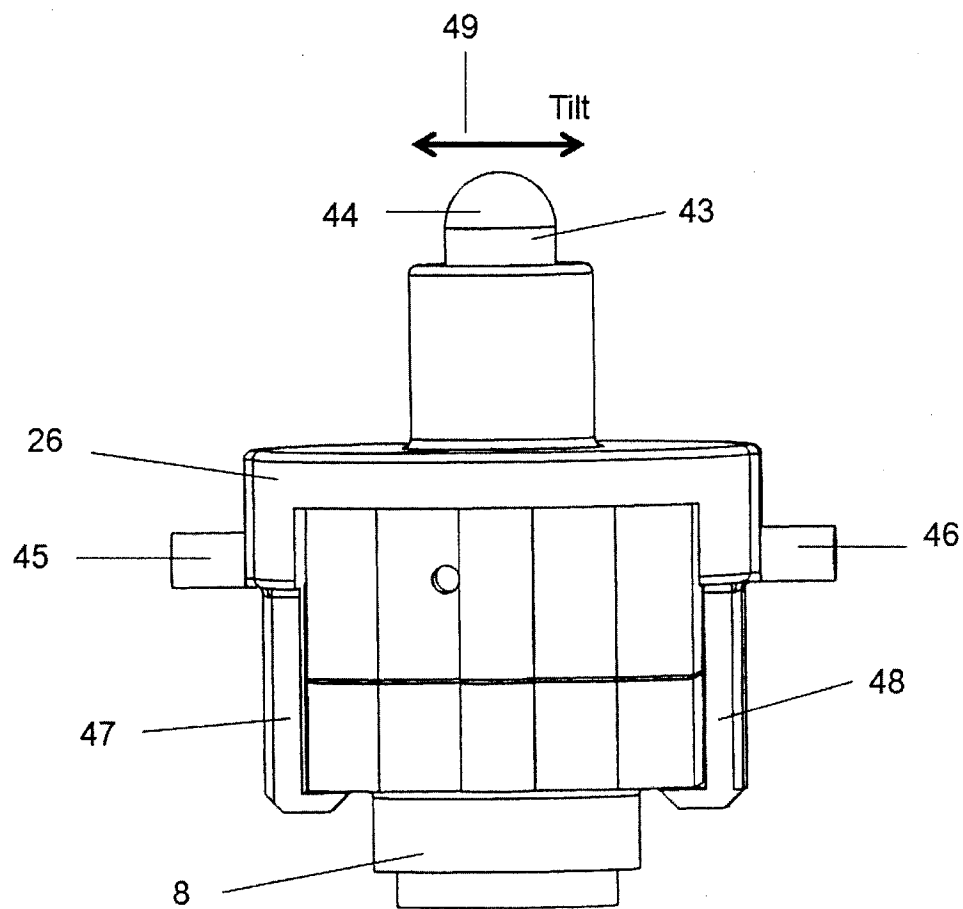


Fig. 5

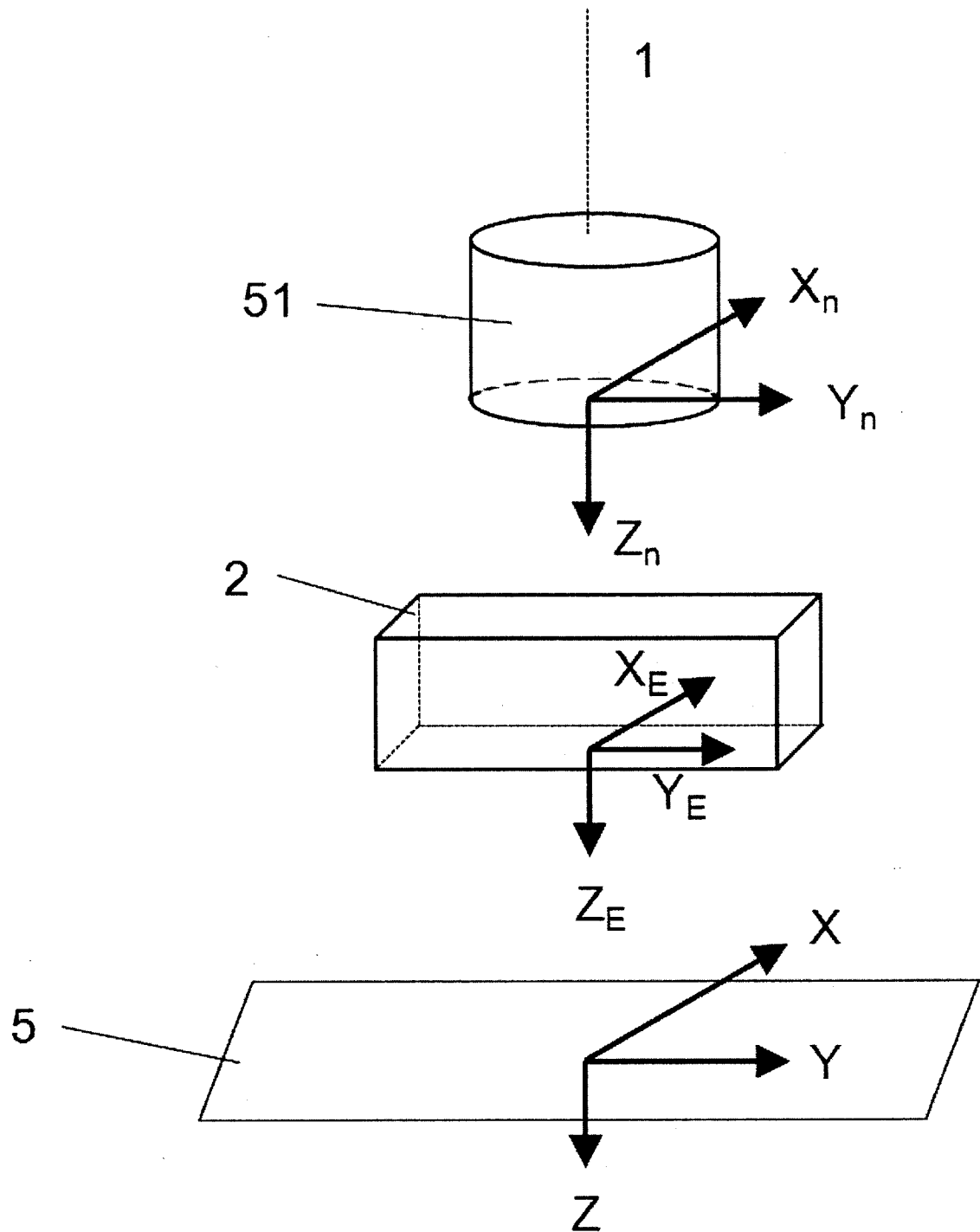


Fig. 6

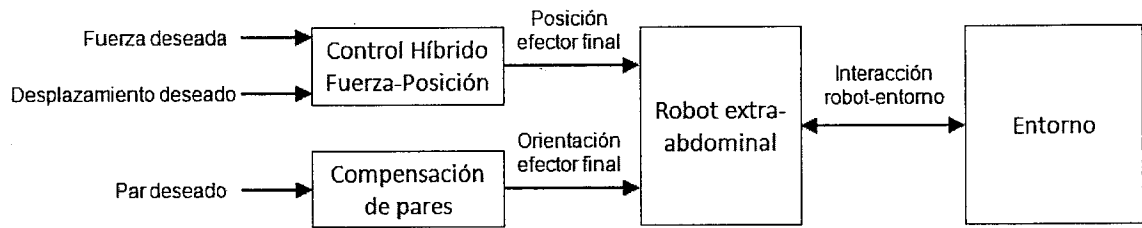


Fig. 7

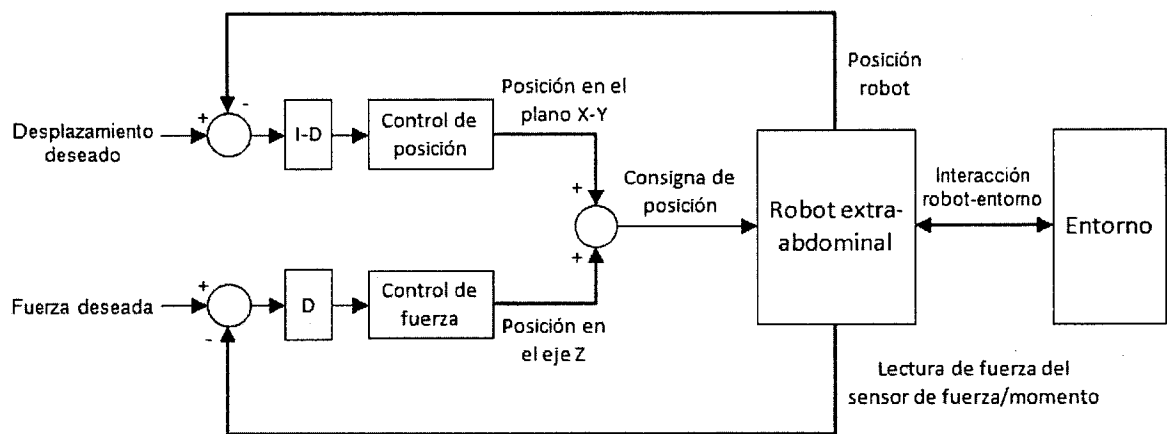


Fig. 8

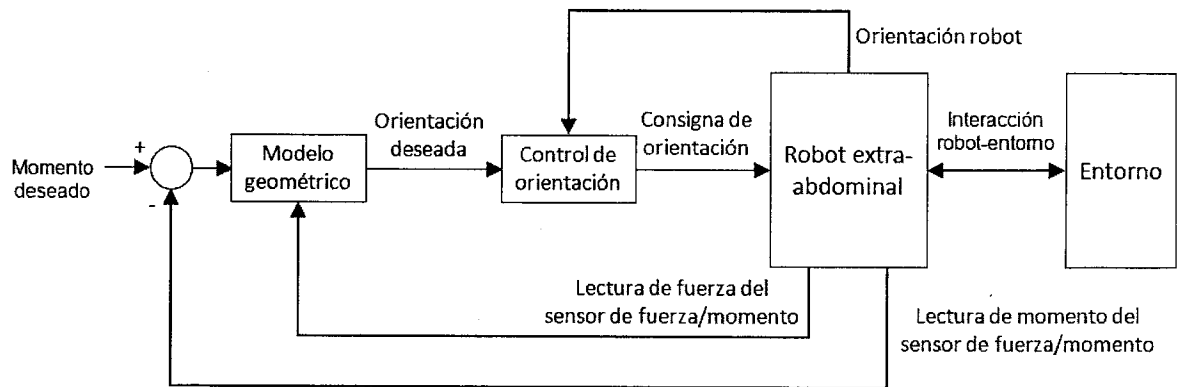


Fig. 9

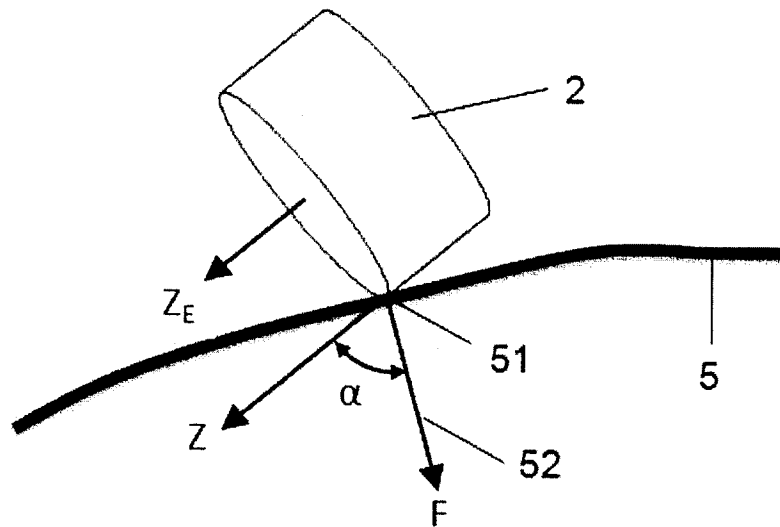


Fig. 10

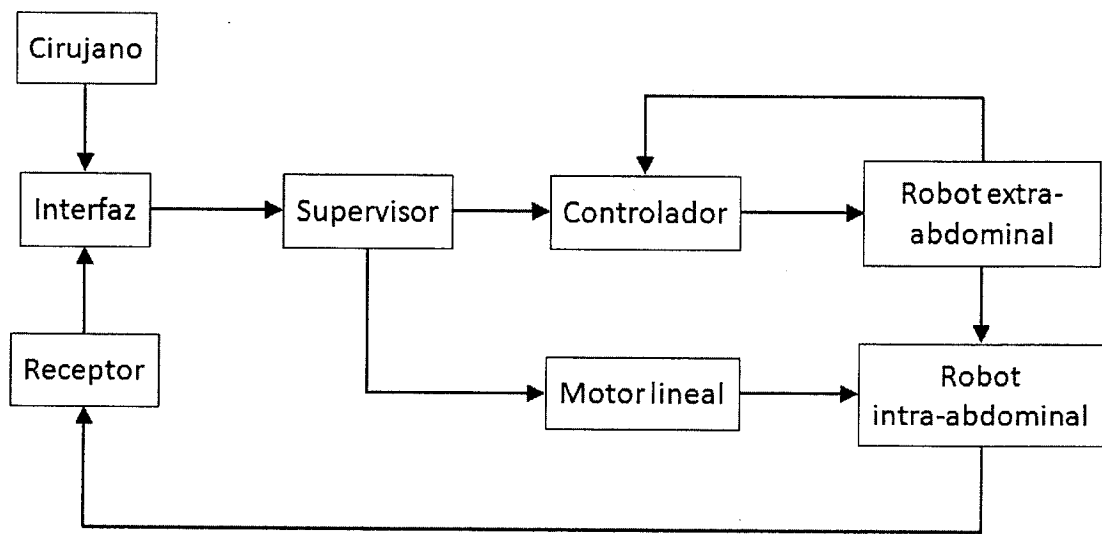


Fig. 11



- ②① N.º solicitud: 201400773
②② Fecha de presentación de la solicitud: 25.09.2014
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **A61B19/00** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	WO 2012164517 A1 (SCUOLA SUPERIORE DI STUDI UNIVERSITARI E DE PERFEZIONAMENTO SANT'ANNA) 06.12.12, página 4, línea 20 – página 5, línea 7; página 5, líneas 30-31; página 7, líneas 16-23; página 8, línea 24 – página 9, línea 15; página 9, línea 25; página 16, líneas 15-24.	1,2,9-11,18, 19,23-30
X	US 2013289579 A1 (YEUNG et al.) 31.10.2013, párrafos [42-46],[48-49],[55-59],[64-65],[75-79].	1,2,18,19
X	ES 2400283 A1 (UNIVERSIDAD DE MÁLAGA) 08.04.2013, resumen: página 3, líneas 7-25; página 10, líneas 22-33.	1,18
A	US 2013012821 A1 (LIN et al.) 10.01.2013, párrafos [3],[10-14],[19-22],[78],[100].	1,2,9-19,23-30
A	DE 102010008585 A1 (SIEMENS AG) 25.08.2011, párrafos [1-4],[6],[10],[13-25],[34-39].	1,18

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
23.09.2015

Examinador
A. Cárdenas Villar

Página
1/4

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

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, NPL, INSPEC, BIOSIS, MEDLINE

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 23.09.2015

Declaración**Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)**

Reivindicaciones 3-17,19-32

SI

Reivindicaciones 1,2,18

NO**Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)**

Reivindicaciones 3-8,12-17,20-22,31-32

SI

Reivindicaciones 1,2,9-11,18,19,23-30

NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	WO 2012164517 A1 (SCUOLA SUPERIORE DI STUDI UNIVERSITARI E DE PERFEZIONAMENTO SANT'ANNA)	06.12.0012
D02	US 2013289579 A1 (YEUNG et al.)	31.10.2013
D03	ES 2400283 A1 (UNIVERSIDAD DE MÁLAGA)	08.04.2013
D04	US 2013012821 A1 (LIN et al.)	10.01.2013
D05	DE 102010008585 A1 (SIEMENS AG)	25.08.2011

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

La solicitud de patente en estudio tiene una reivindicación independiente, R.1, en la cual se citan los componentes fundamentales de un sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva de puerto único: robot extra-abdominal con efector final para el posicionamiento y la orientación de un dispositivo para uso intra-abdominal mediante interacción magnética (la R. 18 se refiere a uno de estos componentes – el dispositivo para uso intra-abdominal – y no aporta características adicionales).

Las reivindicaciones dependientes R.2 (redactada de forma muy general, sin delimitar el alcance de la invención) y R.5-R.8 se refieren a los módulos y elementos de cálculo del sistema de control para el guiado automático del dispositivo para uso intra-abdominal. Las reivindicaciones R.3-R.4 se ocupan de las características de un sensor de fuerza dispuesto en el robot extra-abdominal. En R.9-R.17 se detallan los elementos de acoplamiento del efector final y los medios de interacción magnética. Las reivindicaciones R.19-R.30 se ocupan de los diferentes componentes del dispositivo para uso intra-abdominal. Las reivindicaciones R.31-R.32 se refieren a un componente supervisor del sistema.

Tal y como aparecen redactadas actualmente las reivindicaciones, en especial la reivindicación independiente R.1, se ha considerado al documento D01 como el más próximo en el estado de la técnica. En dicho documento se describe una plataforma robótica para intervenciones de cirugía mínimamente invasiva de puerto único, en donde se encuentra un robot extra-abdominal que dispone de una serie de brazos con efectores finales que permiten el manejo de una serie de dispositivos médicos para uso intra-abdominal mediante la interacción magnética a través de elementos magnéticos dispuestos en una unidad de interfaz interna y una unidad de interfaz externa (ver e.g. en D01 el texto de página 4, línea 20 – página 5, línea 7; página 8, línea 24 – página 9, línea 15).

En este documento también se especifica la existencia de un sistema de control capaz de permitir el guiado de los movimientos del dispositivo de uso intra-abdominal de manera precisa basado en la monitorización de diversos parámetros (ver e.g. página 7, líneas 16-23; página 16, líneas 15-24 o reivindicación 21).

Por todo lo anterior, y tal y como aparecen redactadas actualmente las reivindicaciones, se ha considerado que el documento D01 afecta a la novedad y a la actividad inventiva de las reivindicaciones 1, 2, 18 de la solicitud en estudio según lo especificado en los artículos 6 y 8 de la Ley de Patentes.

También se ha considerado que las reivindicaciones R.9 (efector final con un componente que permite el acoplamiento al robot), R.10 (el componente se acopla mediante sistema de rosca) y R.11 (efector final con componente que comprende medios de interacción magnética) carecen de actividad inventiva ya que son soluciones de carácter general sobradamente conocidas en el estado de la técnica.

Por otra parte, en una forma de realización de la invención descrita en el documento D01, uno de los dispositivos para uso intra-abdominal (que dispone, al igual que los otros brazos robóticos internos, de una unidad o módulo de interfaz magnética) consiste en un dispositivo formado por elementos para la iluminación y por medios para la adquisición de imágenes, en concreto, una cámara (ver e.g. página 5, líneas 30-31; pg. 9, línea 25) y, por tanto, se ha considerado que D01 también afectaría a la actividad inventiva de las reivindicaciones R.19 (dispositivo para uso intra-abdominal con módulo para posicionar dispositivo acoplado), R.23 (el dispositivo acoplado es un sistema de visión), R.24 (cámara) y R. 26 (medios de iluminación) así como a las reivindicaciones R.25 y R.27-R. 30 (una cúpula transparente de protección, LEDs, batería e interruptores son elementos comunes en el estado de la técnica y su empleo no presenta mayores dificultades técnicas).

Sin embargo, el documento D01 no anticipa las soluciones presentadas en las reivindicaciones R.3-R.8, R.12-R.17, R.20-R.22 y R.31-R.32.

Se ha considerado que el documento D02, el cual describe un sistema robótico quirúrgico que incluye un componente externo acoplado magnéticamente a un componente interno dotado de un instrumento quirúrgico para intervenciones intra-abdominales (ver e.g. párrafos 42-46; 48-49, 55-59, 64-65, 75-79), también afectaría la actividad inventiva de las reivindicaciones R.1, R.2, R.18-R.19.

El documento D03 afectaría a la actividad inventiva de las reivindicaciones R.1 y R.18 ya que describe un dispositivo endoscópico magnético formado por una porción interna, dotada de un instrumento quirúrgico, y una porción externa, pudiendo dicha porción externa manejar la porción interna gracias a un conjunto de pares de imanes que mantienen ambas porciones magnéticamente acopladas (ver e.g. resumen; página 3, líneas 7 – 25; página 10, líneas 22 - 33).

Los documentos D04 y D05 ilustran diferentes aspectos relacionados con el estado de la técnica.