

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 433 437**

51 Int. Cl.:

**B25J 13/02** (2006.01)

**B25J 13/08** (2006.01)

**B25J 13/00** (2006.01)

**B25J 19/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2007 E 11186566 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2013 EP 2422939**

54 Título: **Método y aparato para control háptico**

30 Prioridad:

**19.12.2006 AU 2006907038 P**

**18.05.2007 AU 2007902660 P**

**13.07.2007 AU 2007903796 P**

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

**11.12.2013**

73 Titular/es:

**DEAKIN UNIVERSITY (100.0%)**

**Pigdons Road**

**Waurm Ponds, Victoria 3221, AU**

72 Inventor/es:

**HORAN, BEN;**

**BHATTI, ASIM y**

**NAHAVANDI, SAEID**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 433 437 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Método y aparato para control háptico

### 5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo del establecimiento de interfaces a distancia utilizando tecnología háptica. "Háptica" se refiere al sentido del tacto y, como tal, cualquier tecnología que crea una sensación de tacto o, sensación o sensaciones de retroalimentación generalmente sensoriales a un operario humano puede clasificarse como tecnología háptica.

### Antecedentes de la invención

En toda esta memoria descriptiva, el uso de la palabra "inventor" en forma singular puede tomarse como referencia a uno de (singular) o todos (plural) los inventores de la presente invención. El inventor ha identificado la siguiente técnica relacionada.

En general, el campo de la háptica se refiere al desarrollo, ensayo y refinamiento de dispositivos de retroalimentación táctiles y de fuerza y el software de soporte que permite a los usuarios detectar o "sentir", y manipular objetos o un entorno virtual con respecto a atributos tales como forma, peso, texturas superficiales, temperatura y demás.

Generalmente, puede afirmarse que de los cinco sentidos, concretamente vista, oído, olfato, tacto y gusto, son la vista, el oído y el tacto los que proporcionan la mayor cantidad de información sobre un entorno, donde los otros sentidos son más sutiles.

En seres humanos, la detección táctil generalmente se consigue por medio de células receptoras ubicadas cerca de la superficie de la piel, cuya mayor densidad puede encontrarse en las manos. Estos receptores pueden percibir vibraciones de hasta aproximadamente 300 Hz. Por lo tanto, en una interfaz háptica, la retroalimentación táctil puede implicar generalmente sensaciones de frecuencia relativamente alta aplicadas en las proximidades de la superficie de la piel, habitualmente en respuesta al contacto, como tal, entre un usuario y un objeto virtual. Por el contrario, la detección humana de fuerzas puede considerarse como de naturaleza más cinestésica, y puede conseguirse generalmente mediante receptores situados a mayor profundidad en el cuerpo. Estos receptores están ubicados en músculos, tendones y articulaciones y pueden ser estimulados mediante el movimiento y la carga de las partes del cuerpo de un usuario. La frecuencia de estímulo de estos receptores puede ser mucho menor, estando en el intervalo de aproximadamente 0-10 Hz. Por consiguiente, en una interfaz háptica, la retroalimentación de fuerza puede comprender fuerzas artificiales ejercidas directamente sobre el usuario desde alguna fuente externa.

Por lo tanto, puede considerarse que hay dos aspectos para el sentido del tacto; en primer lugar el que proporciona información cinestésica y en segundo lugar el que proporciona información táctil. La información cinestésica que un usuario percibe sobre un objeto son propiedades groseras tales como su posición en el espacio, y si las superficies son deformables o elásticas al tacto. Puede considerarse que la información táctil transmite la textura o aspereza de un objeto que está siendo "tocado". Es deseable que se usen ambos tipos de información "del tacto" en una interfaz háptica realista.

Las interfaces hápticas son sistemas que permiten a un usuario interactuar con un entorno virtual detectando los movimientos de un usuario y a continuación transmitiendo esta información al entorno virtual. Además de esta interacción, al usuario se le proporciona retroalimentación sensorial que refleja sus acciones dentro de este entorno y, como resultado, es el diseño de la interfaz háptica el que transmite el nivel de interactividad sensorial entre el usuario y el entorno virtual.

Un dispositivo desarrollado por M.I.T and SensAble Technologies, Inc, se denomina la interfaz PHANToM™ (Mecanismo de Interfaz Háptica Personal), que se usa ampliamente en el campo de la háptica computarizada. La interfaz PHANToM™ puede permitir a un usuario sentir las fuerzas de interacción que experimentarían tocando una versión real de un objeto con un lápiz o la punta de su dedo.

La mayoría de dispositivos hápticos son dispositivos de mesa, tales como los comercializados en la gama PHANToM™ incluyendo PHANToM omni™ y PHANToM premium™. Otros dispositivos son generalmente dispositivos que se pueden llevar puestos tales como guantes y trajes hápticos y pueden tener altos grados de libertad y por consiguiente son muy caros. Los dispositivos hápticos de menor coste son habitualmente dispositivos de mesa dado que tienen menos grados de libertad (DOF) controlados/accionados en comparación con sus DOF totales. Por ejemplo, el PHANToM omni™ tiene 6 DOF sin embargo solamente 3 de estos están accionados y, por lo tanto, se considera que este dispositivo solamente proporciona interactividad limitada, es decir los sensores son más fáciles y más baratos de instalar que los motores. Por consiguiente, actualmente, ciertos dispositivos hápticos de menor coste comercializados con la marca PHANToM™ muestran una retroalimentación de fuerza que está disponible solamente para tres grados de libertad, concretamente, en las dimensiones lineales (x, y, z) de los seis

grados de libertad completos.

5 Durante la fase de diseño de una interfaz háptica, es necesario determinar el número de sensores y accionadores a usar en la interfaz de modo que el nivel de interacción proporcione la retroalimentación de fuerza de la más alta calidad. En diseños de interfaz existentes, el inventor es testigo del uso de una mayor relación de sensor con respecto a accionador, que da como resultado una experiencia dimensional altamente interactiva, pero tiene un nivel de retroalimentación sensorial reducido. La introducción de mayores números de sensores se debe principalmente a las dificultades para diseñar un sistema de retroalimentación de fuerza completamente transparente con altos grados de libertad. Otro colaborador es el factor de bajo coste para la implementación comercial de más sensores respecto a accionadores.

15 La transparencia permite a un usuario sentir fuerzas realistas sin ajustarse a problemas mecánicos tales como reacción antagónica y el peso de la propia interfaz. Es comprensible, por lo tanto, ver interfaces de mayor transparencia en un sistema comercial de bajo coste, dado que utiliza menos grados de libertad que proporcionan retroalimentación de fuerza. Los dispositivos más complejos y, por lo tanto, más caros ofrecen por consiguiente menos transparencia; sin embargo proporcionan mayor capacidad de usa para los requisitos de renderizar e interactuar con mundos virtuales ricos y complejos.

20 Las actuales interfaces de bajo coste tienen limitaciones que se ha reconocido que proporcionan ciertas restricciones al usuario para interactuar con el entorno virtual. Una de estas restricciones es la capacidad de agarrar y manipular objetos virtuales con retroalimentación sensorial/de fuerza. Agarrar es una de las capacidades más básicas de la interacción humana, aunque ha demostrado ser una de las más difíciles de conseguir con respecto al diseño de una interfaz háptica.

25 Los intentos tempranos de simular el agarre se basaban en el uso de dispositivos con dos, tres grados de libertad (DOF). Aunque esta configuración proporciona una simulación muy realista, se requiere una cantidad significativa de espacio de trabajo, lo que es muy limitante si se realiza un intento de utilizar una estrategia de dos manos. Se han producido varios intentos de desarrollar un dispositivo de mesa que sea capaz de estimular el agarre con manipulación tridimensional y retroalimentación de fuerza, sin embargo la mayoría de estos dispositivos han representado herramientas tales como herramientas laparoscópicas o endoscópicas para cirugía mínimamente invasiva. En vista de esto, también sería deseable proporcionar un dispositivo que es capaz de adaptarse a diferentes aplicaciones.

30 El rendimiento interactivo del dispositivo PHANToM™ depende de un único punto de interacción con el entorno virtual o manipulado a distancia. Se han realizado intentos de introducir múltiples puntos de interacción a través de la adición de mecanismos de agarre con retroalimentación de fuerza a un dispositivo háptico. Esta estrategia permite la extensión de agarre con retroalimentación de fuerza, la adición de movimiento y retroalimentación de fuerza con tres grados de libertad. Normalmente dichas adiciones pueden comprender el motor o motores impulsores y el sistema o sistemas de poleas requeridos para la función de agarre que se incluirán en el extremo del dispositivo háptico, lo que añade peso extra al sistema y da como resultado una disminución del rendimiento global.

35 Una potencial solución al problema anterior, en relación con un único par idealizado de "dedos blandos" (es decir, un contacto puntual con fricción) donde no se ejerce ninguna torsión interna sobre un objeto durante el agarre, es usar un único sistema de motor impulsor y polea de cable que se asienta en el extremo de un dispositivo háptico<sup>1</sup>. Un único sistema de motor impulsor y polea de cable se refiere a ambas puntas de los dedos en este diseño, dado que la segunda punta del dedo siente la fuerza de reacción del objeto agarrado (esto es lo mismo que apretar una pelota de golf entre un pulgar y un dedo índice, la fuerza que se siente en ambos dedos es la misma). Sin embargo, no es claramente evidente que la posición del dedo no accionado sea sometida a seguimiento. Unido a la polea hay un punto de interacción del dedo que es impulsado por un sistema de motor y cable, dependiendo del apéndice que se use para interactuar con el dispositivo, es decir la interfaz de pulgar o dedo índice. La interfaz del otro dedo (es decir, un dedo opuesto para el agarre) está acoplada directamente a la interfaz accionada, lo que significa que ambos dedos se moverán una distancia igual uno con respecto al otro y al dispositivo háptico. Por consiguiente, para reducir el peso de la interfaz de agarre, se usa un pequeño motor impulsor y, como resultado, la fuerza máxima del sistema es relativamente pequeña. Este diseño puede limitar las interfaces de dedo no permitiendo al usuario experimentar fuerzas externas individuales aplicadas a cada dedo. Este diseño también puede estar limitado en que no puede mostrarse ningún par de torsión al usuario, lo que finalmente limita la experiencia interactiva para un usuario y la aplicabilidad del dispositivo.

60 <sup>1</sup>\_, K. Salisbury, R. Devengenzo. *Toward virtual manipulation: from one point of contact to four*. Sensor Review, Vol 24 · Número 1 · 2004 · págs. 51-59.

65 Los problemas mencionados anteriormente no pretenden ser una referencia exhaustiva, sino en su lugar una indicación, en la vista del inventor, en cuanto a las debilidades generales que han encontrado los sistemas actuales, que tienden a debilitar la eficacia de interfaces de agarre desarrolladas anteriormente.

A modo de ejemplo, la figura 1a ilustra un sistema de interfaz háptica conocido 1a que tiene una plataforma sobre ruedas o raíles 2a y un dispositivo háptico disponible en el mercado 3a tal como la interfaz PHANTOM™ indicada anteriormente. El dispositivo háptico 3a tiene una sonda 5a. Las entradas al sistema 1a en forma de movimientos de la mano del operario de la sonda 5a se traducen en entradas de control a la plataforma 2a que son transmitidas por el canal de comunicación 4a. La aplicación del aumento háptico específico es transmitida, a su vez, al operario por el canal 6a.

Por ejemplo, el operario puede controlar el movimiento de la plataforma 2a a medida que explora un entorno remoto, ayudado con imágenes de una cámara de a bordo. Cuando es probable que la plataforma choque con un obstáculo entonces el aumento háptico en forma de fuerzas apropiadas se proporciona al operario para indicar al operario que el robot está a punto de chocar con un obstáculo.

El inventor ha identificado también la siguiente técnica anterior. La simulación de movimiento puede descomponerse generalmente en dos componentes, concretamente, fuerzas de movimiento fundamentales y, la sensación o experiencia del cuerpo durante el movimiento. Con respecto al primer componente de fuerzas de movimiento fundamentales, la mayoría de los simuladores son más o menos estacionarios y no tienen impulso, por lo tanto deben producir una fuerza que mueva a un usuario a simular un cambio de dirección o impulso para el movimiento simulado. En general, los movimientos fundamentales de un simulador pueden considerarse como cabeceo (inclinación hacia arriba o hacia abajo), rotación (rodar lateralmente a izquierda o derecha) y viraje (girar a izquierda o derecha en un plano horizontal). Es deseable que un simulador sofisticado también pueda facilitar el desplazamiento vertical, lateral y longitudinal, que proporciona eficazmente seis grados de libertad al sistema. Con respecto al segundo componente de la sensación de movimiento del cuerpo, puede decirse que esto se refiere a la interpretación del cerebro de la experiencia a través de las sensaciones corporales. Se considera que el oído interno y la visión desempeñan un papel principal. El sonido también puede tener influencia sobre la interpretación del movimiento por parte del cerebro. Además, el tacto o la sensación táctil pueden proporcionar un medio de establecer una realidad de movimiento interpretada. La sensación táctil es proporcionada generalmente por simuladores de movimiento por medio de controladores de audio o generadores de vibraciones asociados de forma operativa con la estructura del propio simulador.

Existen varios simuladores de movimiento comerciales disponibles tales como simuladores de vuelo. Un ejemplo de simuladores son aquellos ofrecidos por Moog, Inc y sus filiales por todo el mundo usando un servoaccionador de base hidráulica configurado de manera cinemática de cadena cerrada, sin embargo, el movimiento y el entorno de trabajo de estos sistemas pueden ser muy limitados. La tecnología de simulador disponible puede usar un 'receptáculo' como el espacio del operario simulado para representar el entorno físico entre el operario y el sistema simulado. En sistemas de simulación con movimiento permitido este receptáculo puede estar montado sobre una plataforma de movimiento, y referencias visuales y comandos de movimiento pueden generarse en respuesta al accionamiento por parte del usuario de los controles y la interacción del sistema simulado con el entorno virtual.

La mayoría de los sistemas simuladores de movimiento, ya sea un simulador de vuelo, de coche, de tanque, etc., tienen una debilidad en común. Su falta de movimientos corporales completos a través de limitaciones mecánicas, por ejemplo, sigue siendo un tema de investigación que plantea un desafío para tecnología de entorno virtual. En la mayoría de los casos, la tecnología existente puede usar una "cabina" que representa el vehículo físico y sus controles. La cabina puede estar montada habitualmente sobre una plataforma de movimiento, y pantallas de ventana virtual y comandos de movimiento pueden generarse en respuesta al manejo de los controles por parte del usuario. Estos sistemas también tienden a estar especializados para una aplicación particular.

En los últimos años, la industria del entretenimiento y atracciones de aventura también ha explotado dicha tecnología.

El documento US-B-6 776 722 desvela un aparato que comprende un brazo robot antropomórfico adaptado para proporcionar seis grados de libertad de movimiento, y un receptáculo del usuario para alojar todo el cuerpo de un usuario, estando dicho receptáculo del usuario conectado de forma operativa al brazo robot antropomórfico.

Sin embargo, para muchos tipos de aplicaciones de entorno virtual, puede requerirse un automovimiento más activo. Los principales desafíos para el movimiento de todo el cuerpo en un entorno virtual surgen cuando tenemos locomoción a través de un gran espacio virtual, se requieren locomoción sobre características superficiales variables, y movimiento en una dirección diferente de la horizontal. Por lo tanto, la replicación o simulación de movimientos de todo el cuerpo representa un tema de investigación que plantea un desafío en tecnología de entorno virtual.

## Sumario de la invención

Un objetivo de las realizaciones descritas en el presente documento es paliar al menos una desventaja asociada con la técnica relacionada, tal como se ha descrito anteriormente en el presente documento.

En un aspecto, la presente invención proporciona un método de simulación de movimiento tal como se define en la reivindicación 1.

5 La etapa de proporcionar retroalimentación háptica puede comprender retroalimentar el movimiento sometido a seguimiento del usuario a una interfaz para adaptar la percepción del usuario del entorno simulado.

La etapa de retroalimentar puede comprender transformar la vista de un usuario mediante una cantidad negativa que complementa el movimiento sometido a seguimiento. El movimiento sometido a seguimiento puede comprender uno o una combinación de:

10 posición en coordenadas cartesianas X, Y y Z; y,  
orientación que comprende viraje, cabeceo y rotación.

15 El método de simulación del movimiento puede comprender, además, la etapa de proporcionar uno o una combinación de:

20 al menos una referencia de movimiento principal generada por el brazo robot y correspondiente a la posición y/o orientación del receptáculo;

al menos una referencia de movimiento secundario generada por al menos un accionador háptico provisto en el receptáculo y asociado de forma operativa con el usuario;

25 al menos una referencia de retroalimentación de fuerza generada por el al menos un accionador háptico para simular fenómenos físicos encontrados por el usuario en el entorno simulado.

El método de simulación del movimiento también puede comprender, además, la etapa de asociar de forma operativa control de software programado para relacionar una pluralidad de aplicaciones de entorno simulado con un controlador de movimiento del brazo robot. La etapa de asociar de forma operativa el control de software con el controlador de movimiento puede comprender las etapas de:

30 generar señales de control del usuario asociadas con dispositivos de receptáculo controlados por el usuario y que comprenden parámetros de movimiento;

35 comunicar las señales de control al control de software para desencadenar comandos de movimiento para el brazo robot.

El método de simulación del movimiento puede comprender, además, uno o una combinación de:

40 generar una base de datos de movimientos empíricos constituida por datos de movimientos capturados para simular escenarios y/o modelización de escenarios de simulación predeterminados;

45 acceder a una base de datos de movimientos empíricos existente constituida por datos de movimientos capturados para simular escenarios y/o modelización de escenarios de simulación predeterminados.

En el método de simulación del movimiento, la etapa de seguimiento del movimiento puede comprender una o una combinación de información posicional y/o de orientación del cuerpo y/o partes del cuerpo del usuario y se obtiene mediante uno o una combinación de:

50 medios de captura de movimientos magnéticos;

electromagnéticos; y,

55 ópticos.

En otro aspecto, la presente invención proporciona un aparato simulador de movimientos tal como se define en la reivindicación 5.

60 El aparato simulador de movimientos puede comprender además: una interfaz de control del usuario asociada de forma operativa con el receptáculo y el brazo robot para proporcionar a un usuario una percepción del entorno simulado; y; dispositivos de seguimiento para seguir el movimiento del usuario.

65 La interfaz háptica del aparato simulador de movimientos puede estar adaptada para retroalimentar el movimiento sometido a seguimiento del usuario a la interfaz de control del usuario para adaptar la percepción del usuario del entorno simulado.

El aparato simulador de movimientos puede comprender, además, medios de transformación para transformar la vista de un usuario mediante una cantidad negativa que complementa el movimiento sometido a seguimiento.

5 En la función del aparato simulador de movimientos, el movimiento sometido a seguimiento puede comprender una o una combinación de: posición en coordenadas cartesianas X, Y y Z; y, orientación que comprende viraje, cabeceo y rotación.

10 Además, en la función del aparato simulador de movimientos, el movimiento sometido a seguimiento puede comprender una o una combinación de información posicional y/o de orientación del cuerpo y/o partes del cuerpo del usuario y se obtiene mediante uno o una combinación de:

medios de captura de movimientos magnéticos;  
15 electromagnéticos; y,  
ópticos.

El aparato simulador de movimientos puede estar adaptado para proporcionar uno o una combinación de:

20 al menos una referencia de movimiento principal generada por el brazo robot y correspondiente a la posición y/o orientación del receptáculo;

al menos una referencia de movimiento secundario generada por al menos un accionador háptico provisto en el receptáculo y asociado de forma operativa con el usuario;

25 al menos una referencia de retroalimentación de fuerza generada por el al menos un accionador háptico para simular fenómenos físicos encontrados por el usuario en el entorno simulado.

30 El aparato simulador de movimientos puede comprender, además, un producto informático que comprende control de software programado para relacionar una pluralidad de aplicaciones de entorno simulado y adaptado para asociación operativa con un controlador de movimiento del brazo robot del aparato simulador de movimientos. El control de software puede estar asociado de forma operativa con el controlador de movimiento mediante medios de generación de señales de control del usuario para generar señales de control del usuario asociadas con dispositivos de receptáculo controlados por el usuario y que comprenden parámetros de movimiento y medios de comunicación para comunicar las señales de control al control de software para desencadenar comandos de movimiento para el brazo robot.

35 El aparato simulador de movimientos puede comprender, además, uno o una combinación de:

40 una base de datos de movimientos empíricos generada in situ y constituida por datos de movimientos capturados para simular escenarios de simulación predeterminados y/o modelización;

45 medios de acceso para acceder a una base de datos de movimientos empíricos existente constituida por datos de movimientos capturados para simular escenarios de simulación predeterminados y/o modelización.

Realizaciones preferidas proporcionan un aparato adaptado para simular movimiento, comprendiendo dicho aparato:

50 medios procesadores adaptados para operar de acuerdo con un conjunto de instrucciones predeterminadas,

estando dicho aparato, junto con dicho conjunto de instrucciones, adaptado para realizar una cualquiera o más de las etapas del método de simulación del movimiento descrito en el presente documento.

55 Realizaciones preferidas también proporcionan un programa informático que comprende instrucciones para, cuando se ejecuta en un procesador, llevar a cabo una cualquiera o más de las etapas del método de simulación del movimiento descrito en el presente documento.

60 En esencia, aspectos de la presente invención surgen de la realización de que proporcionar un movimiento corporal completo a través de los planos X, Y, y Z del sistema de coordenadas cartesianas en cualquier orientación en combinación con retroalimentación háptica, la cantidad de realismo físico o suspensión de incredulidad de un usuario puede establecerse de forma significativa mediante las referencias de movimiento fieles resultantes que se vuelven disponibles. Por consiguiente, puede considerarse que la segunda realización descrita en el presente documento proporciona un Simulador de Movimiento Universal (UMS).

65 Se proporcionan una serie de ventajas tales como:

El sistema completo puede aumentar la cantidad de realismo físico, o suspensión de incredulidad que puede ser experimentada por el usuario como resultado directo de referencias de movimiento más realistas y fieles.

5 Pueden eliminar problemas de mareo del movimiento para usuarios como resultado de dependencia reducida del alineamiento de referencias visuales y de movimiento a través de la combinación de movimiento de traslación con respecto a movimiento rotatorio y el uso del radio de giro del mismo tamaño cuando se cambian direcciones

La precisión de los modelos de simulación del movimiento humano puede mejorarse mucho.

10 Adicionalmente, uno o varios proyectos de investigación pueden estar apoyados por esta instalación de UMS y dirigidos a aumentar la seguridad del vehículo e impedir accidentes de circulación, de este modo el simulador propuesto también puede ofrecer un valor social significativo.

15 La instalación de UMS capacitada hápticamente puede proporcionar una amplia variedad de movimientos simulados avanzados para mejorar de forma significativa las capacidades y la calidad de investigación de programas de investigación de colaboración.

20 Áreas particulares de investigación pueden estar apoyadas por la instalación de UMS preferida, tales como las siguientes:

- Control de estabilidad electrónico en vehículos y consciencia de situaciones de pérdida del control
- Análisis de cansancio de los conductores
- Mejorar la seguridad de vehículos todoterreno en granjas
- Efectos del movimiento sobre la velocidad y la precisión del alcance del conductor
- 25 • Dinámica del vehículo en tiempo real

En toda esta memoria descriptiva, incluyendo las reivindicaciones, se usan los términos:

30 “ASHA” como acrónimo para “*application-specific haptic augmentation*” (aumento háptico específico de aplicación); y

“ICHA” como acrónimo para “*input-control haptic augmentation*” (aumento háptico de control de entrada).

35 Otros aspectos y características preferidas de realizaciones se describen en la memoria descriptiva y/o se definen en las reivindicaciones adjuntas, que forman parte de esta descripción.

Se señala que las primera y tercera realizaciones mencionadas en lo sucesivo en el presente documento no forman parte de la presente invención. Solamente la segunda realización es ilustrativa de la presente invención.

40 El alcance de aplicabilidad adicional de las presentes realizaciones se volverá evidente a partir de la descripción detallada que se proporciona en lo sucesivo en el presente documento. Sin embargo, debe entenderse que la descripción detallada y ejemplos específicos, aunque indicando realizaciones preferidas, se proporcionan a modo de ilustración solamente, dado que diversos cambios y modificaciones dentro del alcance de la divulgación en el presente documento se volverán evidentes para los expertos en la materia a partir de esta descripción detallada.

#### 45 **Breve descripción de los dibujos**

Otras características y ventajas de una o más realizaciones preferidas serán fácilmente evidentes para un experto en la materia a partir de la siguiente descripción por escrito en referencia a y, usada junto con, los dibujos adjuntos, que se dan a modo de ilustración solamente y, por lo tanto, no son limitantes del alcance de la presente invención, y en los que:

La figura 1a es una vista esquemática de un sistema de interfaz háptica conocido;

55 La figura 1 es una vista en perspectiva de una interfaz de agarre háptica de acuerdo con una primera realización descrita en el presente documento;

La figura 2 es una vista en perspectiva en despiece ordenado de una interfaz de agarre háptica de acuerdo con la primera realización descrita en el presente documento;

60 La figura 3 es otra vista en perspectiva de una interfaz de agarre háptica de acuerdo con la primera realización descrita en el presente documento;

65 La figura 4 es una vista frontal de una interfaz de agarre háptica de acuerdo con la primera realización descrita en el presente documento;

La figura 5 es una vista posterior de una interfaz de agarre háptica de acuerdo con la primera realización descrita en el presente documento;

5 La figura 6 es una vista lateral de una interfaz de agarre háptica de acuerdo con la primera realización descrita en el presente documento;

La figura 7 es una vista superior de una interfaz de agarre háptica de acuerdo con la primera realización descrita en el presente documento;

10 La figura 8 es una vista inferior de una interfaz de agarre háptica de acuerdo con la primera realización descrita en el presente documento.

La figura 9 es una vista en perspectiva de un simulador de movimiento universal de acuerdo con una segunda realización descrita en el presente documento;

15 La figura 10 es un diagrama de flujo que ilustra retroalimentación y control general para un simulador de movimiento universal de acuerdo con una segunda realización descrita en el presente documento;

20 La figura 10a es un diagrama de flujo detallado adicional que ilustra retroalimentación y control general para un simulador de movimiento universal de acuerdo con una segunda realización descrita en el presente documento;

La figura 10b es un diagrama de bloques esquemático del simulador de la figura 10 y 10a;

25 La figura 10c es una vista en perspectiva más detallada de un receptáculo modificado tal como se muestra en la figura 9;

La figura 11 es otra vista en perspectiva de un receptáculo modificado para su uso con un simulador de movimiento universal de acuerdo con una segunda realización descrita en el presente documento;

30 La figura 12 es otra vista en perspectiva de un receptáculo modificado para su uso con un simulador de movimiento universal que muestra un aparato de captura de movimiento de acuerdo con una segunda realización descrita en el presente documento;

35 La figura 13 es un diagrama de bloques esquemático de una plataforma de control del operario y móvil de acuerdo con una tercera realización;

La figura 14, 15 y 16 ilustran detalles de la realización ilustrada en la figura 13;

40 Las figuras 17 y 17a ilustran detalles de la técnica de la figura 1a; y

La figura 18 es un diagrama de flujo que ilustra aspectos del funcionamiento de la realización de la figura 13.

### **Descripción de la realización preferida**

45 Una primera realización se refiere a un método y un aparato para proporcionar una interfaz háptica. En una forma particular, la presente realización se refiere a un método y aparato para facilitar el agarre de objetos en una interfaz háptica. Será conveniente describir en lo sucesivo en el presente documento la realización en relación con el uso del aparato para proporcionar una interfaz de agarre háptica que refleja la fuerza a una pluralidad de puntos de interacción del dedo, sin embargo, debe apreciarse que la realización no está limitada a esa aplicación, solamente.

50 En el desarrollo de la primera realización descrita, se consideraron dos asuntos a resolver. En primer lugar, estaba la definición del número de puntos de punta del dedo virtuales (avatares) que se requieren para tener un cierre de forma completa (agarre estable) para las diferentes aplicaciones de un agarrador remoto. En segundo lugar, está el diseño de una interfaz humana que pueda albergar estos requisitos multi-punto. Una aplicación de considerable interés es la formación médica tal como cirugía mínimamente invasiva. Esta área de la háptica se está volviendo incluso cada vez más plausible debido al hecho de que la comunidad de investigación háptica está contribuyendo en gran medida a esta área. En otro campo, aplicaciones militares tales como operación a distancia dentro de entornos peligrosos permite la evaluación y el desarme seguros de objetos sensibles y peligrosos. Aplicaciones industriales, tales como formación del operario, permiten la educación y formación seguras de empleados en la industria, sin ser expuestos de forma prematura a entornos de trabajo peligrosos.

60 En esta primera realización preferida, se ha considerado un dispositivo para dos dedos dado que permite el uso de mínimos sensores y accionadores para establecer cierre de forma basado en un agarre entre el pulgar y el dedo índice. Con menos sensores y accionadores, el dispositivo puede estar unido a un dispositivo de 3 DOF existente y, por lo tanto, proporciona agarre y manipulación con retroalimentación de fuerza mientras se mantiene la máxima transparencia posible. Un beneficio de este diseño de dos dedos es que permite que se aplique una fuerza torsional

al usuario alrededor del eje de agarre, que da como resultado un eje extra con retroalimentación de fuerza.

Una vista en perspectiva de una interfaz háptica de acuerdo con la primera realización se muestra en la figura 1. La interfaz mostrada tiene dos puntos de contacto de agarre del dedo 13, que se denominan sistemáticamente en general como asidero 1. Cada punto de contacto es independiente del otro y, por consiguiente, muestra fuerzas individuales de acuerdo con esta realización. El asidero 1 está unido al extremo terminal de un dispositivo háptico 2 mediante un cuerpo central 3 y acoplamiento de fijación 4, tal como se ilustra adicionalmente con respecto a la figura 2. El cuerpo central 3 puede usarse para alojar los cojinetes de las poleas 9, y proporciona eficazmente un medio de unión para una placa de soporte del cable 5. El cuerpo central 3 también proporciona un punto de unión al extremo de un dispositivo háptico 2. A través de una adición de otra polea 9, a modo de modificación del cuerpo central 3, puede añadirse otro punto de contacto del dedo 13. El acoplamiento de fijación 4 se usa para unir los puntos de contacto 13 a, en un caso a modo de ejemplo el phantom omni™, pero puede modificarse para unirse a cualquier dispositivo háptico 2.

En referencia a las figuras 1 a 8, donde números de referencia similares se usan para características correspondientes, unida al cuerpo central 3 hay una placa de soporte del cable 5, que contiene cuatro miembros de soporte del extremo de la funda 6 y que proporciona soporte horizontal a dos cables enfundados 7. Un cable 7 para cada uno de los dedos 8 entra en las aberturas (véase 6 en la vista superior de la figura 7) de los miembros de soporte del extremo de la funda 6 y está enrollado alrededor de una polea 9, donde el número '8' se usa en referencia a cada cable que esencialmente impulsa a un único dedo de forma bidireccional. Cada dedo 8 comprende una polea 9, un brazo y una almohadilla de soporte.

Cada polea 9 tiene una abertura 10 (mostrada en la figura 6) en los canales de las poleas para terminar el cable 7 para proporcionar movimiento bidireccional de la polea 9 alrededor del eje del cuerpo central 3. Cada cable 7 tiene dos fundas que se usan para ayudar a proporcionar el movimiento bidireccional a la polea 9 y el guiado entre los accionadores del motor en un mecanismo de impulso y control del accionador 11, mostrado esquemáticamente en la figura 1, que está montado a distancia del asidero 1, por ejemplo en una caja debajo del dispositivo háptico.

Un miembro de brazo angular 12 está unido a la polea 9 y es paralelo al cuerpo central 3 para distribuir retroalimentación, concretamente sensación táctil o, más preferentemente, fuerzas a las puntas de los dedos del usuario. Estas fuerzas se distribuyen mediante el punto de contacto del dedo 13 que está montado en el miembro de brazo angular 12 para movimiento rotacional alrededor del miembro de brazo angular 12. La flecha A, representada en la figura 1 representa el movimiento rotacional alrededor del eje del cuerpo central 3 para aplicar un par de torsión alrededor de este eje. Además, la flecha A' se muestra representando cómo cada yema del dedo es capaz de girar alrededor del eje de cada miembro de brazo 12 que puede permitir a los dedos del usuario moverse en una posición cómoda especialmente durante ejercicios de agarre y rotación. El punto de contacto del dedo 13 contiene una tira para el dedo 14 que ata el pulgar y el índice del usuario al punto de contacto del dedo 13 y, como resultado, aplica retroalimentación interna y externa o fuerzas a las puntas de los dedos del usuario.

El experto en la materia apreciaría que materializaciones prácticas de la primera realización pueden encontrar aplicación en, por ejemplo, entornos que son adecuados para proporcionar telepresencia aunque esto no debe tomarse como un ejemplo limitante de uso. En aplicaciones de telepresencia, el entorno que experimenta un usuario puede ser real pero demasiado extraño o peligroso para visitarlo en realidad. Habitualmente alguna forma o robot o quizás solamente un brazo robótico puede llevar sensores que atestiguan el entorno y envían información de vuelta al usuario. Estos entornos pueden relacionarse con campos tales como, por ejemplo, lucha contra incendios, cirugía y exploración de entornos extremadamente remotos como Marte por un robot y un beneficio de dichos sistemas de telepresencia es que pueden usarse para extender los sentidos de un usuario más allá de sus capacidades normales. Por ejemplo, está previsto que sensores infrarrojos o ultravioletas puedan tener sus salidas remapeadas en el espectro visible para permitir a un usuario ver eventos que normalmente pueden ser invisible y, robots equipados con contadores de radiación pueden usarse para explorar dentro de las partes de centrales nucleares donde es inseguro que estén los seres humanos. Por ejemplo, el robot puede comprobar áreas dañadas e informar sobre el nivel de radiación sin poner en peligro al operario.

Una segunda realización se refiere una simulación de movimiento. Será conveniente describir en lo sucesivo en el presente documento la segunda realización en relación con el uso de un aparato robótico antropomórfico para proporcionar una plataforma simuladora de movimiento universal capacitada hápticamente para facilitar simulaciones de vehículo para apoyar la formación y/o la investigación, sin embargo, debe apreciarse que la presente invención no está limitada a esta aplicación solamente.

En general, el campo de la háptica se refiere al desarrollo, ensayo, y refinamiento de dispositivos de retroalimentación táctiles y de fuerza y el software de soporte que permite a los usuarios detectar o "sentir", y manipular objetos o un entorno virtual con respecto a atributos tales como forma, peso, texturas superficiales, temperatura y demás.

Generalmente, puede afirmarse que, de los cinco sentidos, concretamente vista, oído, olfato, tacto y gusto, son la vista, el oído y el tacto los que proporcionan la mayor cantidad de información sobre un entorno, donde los otros

sentidos son más sutiles.

En seres humanos, la detección táctil generalmente se consigue por medio de células receptoras ubicadas cerca de la superficie de la piel, cuya mayor densidad puede encontrarse en las manos. Estos receptores pueden percibir vibraciones de hasta aproximadamente 300 Hz. Por lo tanto, en una interfaz háptica, la retroalimentación táctil puede implicar generalmente sensaciones de frecuencia relativamente alta aplicadas en las proximidades de la superficie de la piel, habitualmente en respuesta al contacto, como tal, entre un usuario y un objeto virtual. En contraste, la detección humana de fuerzas puede considerarse como de naturaleza más cinestésica, y puede conseguirse generalmente mediante receptores situados a mayor profundidad en el cuerpo. Estos receptores están ubicados en músculos, tendones y articulaciones y pueden ser estimulados mediante el movimiento y la carga de las partes del cuerpo de un usuario. La frecuencia de estímulo de estos receptores puede ser mucho menor, estando en el intervalo de aproximadamente 0-10 Hz. Por consiguiente, en una interfaz háptica la retroalimentación de fuerza puede comprender fuerzas artificiales ejercidas directamente sobre el usuario desde alguna fuente externa.

Por lo tanto, se considera que hay dos aspectos para el sentido del tacto; en primer lugar el que proporciona información cinestésica y en segundo lugar el que proporciona información táctil. La información cinestésica que un usuario percibe sobre un objeto son propiedades groseras tales como su posición en el espacio, y si las superficies son deformables o elásticas al tacto. Puede considerarse que la información táctil transmite la textura o aspereza de un objeto que está siendo "tocado". Es deseable que se usen ambos tipos de información "del tacto" en una interfaz háptica realista.

Las interfaces hápticas son sistemas que permiten a un usuario interactuar con un entorno virtual detectando los movimientos de un usuario y a continuación transmitiendo esta información al entorno virtual. Además de esta interacción, al usuario se le proporciona retroalimentación sensorial que refleja sus acciones dentro de este entorno y, como resultado, es el diseño de la interfaz háptica el que transmite el nivel de interactividad sensorial entre el usuario y el entorno virtual.

De acuerdo con aspectos particularmente preferidos de la segunda realización, se proporciona un Simulador de Movimiento Universal (UMS) capacitado hápticamente tal como se muestra en la figura 9. El UMS preferido de la figura 9 es una plataforma para proporcionar investigación y/o formación mediante simulación de movimiento que comprende, en combinación, las siguientes tecnologías:

- Robot antropomórfico de alta carga útil 91;
- Dispositivos de seguimiento para capturar el movimiento humano 1112 (mostrados de la mejor manera en las figuras 11 y 12);
- Sistemas de visualización visual 93;
- Sistema háptico 94;
- Sistemas de audio en 3D 96;
- Interfaces de programación de aplicación de simulación asociadas (API) no mostradas;
- Software y hardware de control del movimiento de simulación, no mostrados.

En la plataforma UMS preferida un receptáculo modificado 97 está unido de forma operativa a la muñeca del extremo 98 del brazo robot 99 y puede estar en la misma configuración que los simuladores de movimiento disponibles en el mercado, tales como el desvelado en la Patente de Estados Unidos N° 6.776.722 a nombre de De-Gol y concedida a Robocoaster Limited. El dispositivo desvelado por De-Gol se comercializa como Robocoaster™.

El receptáculo 97 está unido a la muñeca 98 del robot antropomórfico 91 mediante acoplamientos apropiados tales como, por ejemplo, una brida de montaje 911. El receptáculo 97 puede, de este modo, en efecto convertirse en la parte (herramienta o asidero) efectora del extremo del robot 91. El robot 91 puede estar adaptado para colocar o situar al receptáculo 97 en un sistema de coordenadas cartesianas en cualquier lugar en el plano X, Y y Z en cualquier orientación.

El receptáculo 97 puede comprender controles hápticos (no mostrados) que forman parte de las interfaces del usuario para un casco de visualización en 3D ligero (no mostrado) tal como una pantalla montada en la cabeza (HMD) que será llevada por el usuario para ver el mundo simulado y sistemas de audio en 3D para proporcionar referencias audibles. La HMD puede estar equipada con auriculares para entrada de audio. El mundo virtual puede generarse mediante software personalizado adecuado tal como, por ejemplo, motores de desarrollo de juegos para crear mundos virtuales tal como sería entendido por el experto en la materia pueden usarse para este fin. Por consiguiente, las vistas de dichos mundos o entornos virtuales pueden visualizarse en la HMD preferentemente usando estéreo secuencial para percepción de profundidad en 3D al usuario. Dependiendo del mundo virtual, pueden generarse referencias audibles y pueden activarse de acuerdo con diferentes eventos que pueden ocurrir en el mundo virtual para proporcionar una auténtica sensación de realismo e inmersión para el usuario. Para mantener el movimiento del UMS sincronizado con el sistema visual humano y para cualesquiera análisis biomecánico dinámico, capacidades de seguimiento pueden introducirse por medio de dispositivos seguidores magnéticos, electromagnéticos y/o ópticos 1112 tal como se muestra en las figuras 11 y 12.

Los dispositivos seguidores magnéticos y ópticos 1112 con sus respectivas capacidades pueden complementarse entre sí y pueden generar información sobre orientación y posicional precisa en cualquier momento en el tiempo con respecto a la orientación y posición del receptáculo 97. En cualquier momento en el tiempo dependiendo de la posición (en coordenadas cartesianas es decir X, Y, Z) y orientación (en términos de viraje, cabeceo y rotación) del receptáculo 97, la vista del usuario puede transformarse en una cantidad negativa de los mismos valores de X, Y, Z, viraje, cabeceo y rotación para mantener al UMS sincronizado con el sistema visual del usuario.

Dos referencias de movimiento paralelas, que definen patrones de movimiento diferentes, pueden generarse, simultáneamente, al ocurrir cualquier evento, dentro del entorno de simulación y pueden definirse como referencias de movimiento principales y secundarias, por consiguiente. Las referencias de movimiento principales pueden definir el cambio global de posición y orientación del receptáculo 97 desde un punto en el espacio al otro, tal como, en una simulación de conducción de un coche, el cambio de posición y orientación del coche del momento temporal  $t$  a  $t+\epsilon$  con respecto a la carretera, donde  $\epsilon$  define un pequeño cambio del tiempo. Las referencias de movimiento principales pueden ser generadas por el brazo robot 99 y pueden definir la posición y orientación globales del receptáculo 97. Por otro lado, las referencias de movimiento secundarias responsables de sensaciones de movimiento más detalladas pero de baja intensidad para el usuario, pueden generarse en el receptáculo 97 preferentemente usando accionadores hápticos 94 tal como se muestra en la figura 10c. Los accionadores hápticos demostrados en la figura 10c son preferentemente dos PHANTOM™ Omni™, sin embargo existen muchas combinaciones y disposiciones diferentes de los accionadores hápticos que pueden estar incorporados en el receptáculo 97 tal como sería reconocido por el experto en la materia.

Los accionadores hápticos 94 también pueden ser responsables de producir referencias de retroalimentación de fuerza para imitar fenómenos físicos reales tales como inclinarse hacia fuera con vibraciones mientras se da una curva sobre una carretera de superficie áspera.

Por lo tanto, el UMS propuesto proporcionará un avance significativo en la investigación de formación y ensayo simulados de operarios y sistemas. Además, puede eliminar problemas de mareo del movimiento a usuarios como resultado de dependencia reducida del alineamiento de referencias visual y de movimiento a través de la combinación de movimiento de traslación con el movimiento rotatorio y el uso de un radio de giro del mismo tamaño cuando se cambian las direcciones. Esto puede conseguirse colocando el receptáculo 97 en cualquier punto en el espacio a lo largo del plano X, Y, Z (en las coordenadas cartesianas) mientras al mismo tiempo se crea rotación, cabeceo y viraje en la muñeca del robot colocando de este modo el receptáculo 97 en cualquier orientación en el espacio.

Tal como se ha indicado, el sistema Robocoaster™ con una jaula unida al extremo del brazo robot ya está disponible en el mercado. Sin embargo el movimiento físico del usuario dentro de la jaula está limitado por las paredes y techos de la jaula en estos sistemas. Se ha propuesto que la jaula se modifique a un receptáculo/cabina 97 de una manera en que el usuario esté limitado por, por ejemplo, un arnés de cinco puntos y la propia jaula actúe como el marco y la superestructura globales.

El receptáculo 97 también puede ser reconfigurable para permitir que el UMS se use en una serie de diferentes aplicaciones. La interactividad entre el robot 91 y el usuario humano se ha tenido en cuenta para apoyar este objetivo y se demuestra esquemáticamente en la figura 10a. La figura 10a muestra la interactividad entre el usuario y el robot. El módulo 101 es la GUI (Interfaz Gráfica del Usuario) para la entrada del usuario. El módulo 102 extrae la información de los controles de entrada desencadenados por el usuario. El módulo 103 es responsable de la visualización presentada al usuario. El entorno de simulación predefinido existe en 104. El módulo 105 es responsable de extraer la información de posición y orientación. El módulo 106 realiza la extracción de información para el movimiento del robot que a continuación pasa a 108 el módulo de control del robot para controlar el robot. El módulo 107 realiza extracción de información para la retroalimentación háptica que a continuación pasa a 109 módulo control de retroalimentación háptica para controlar la información háptica. El módulo 1010 representaba el brazo robot de 6 DOF. Los accionadores hápticos se presentan mediante 1011, proporcionando al operario información háptica además de la sensación háptica completa proporcionada por el brazo robot en solitario. El módulo gráfico 1012 es para entorno de simulación y visualización.

La interactividad entre el robot 91 y el usuario humano también puede basarse en tecnología de simulador de movimiento existente, tal como el software de control MediaMation™. Un paquete de sistema de control a modo de ejemplo es "Universal Kinematics" de MediaMation™ para comunicar con el controlador de movimiento responsable de impulsar el robot. Una señal puede ser generada por el usuario a través de los controles del usuario 1113, tal como, girando un volante o pisando pedales de freno o aceleración en una simulación de escenario de conducción de un coche. Poseyendo las señales diferentes parámetros, tales como coordenadas posicionales, información de la transformación de la orientación y, componentes de velocidad lineal y angular, pueden pasarse al software de control del movimiento para desencadenar los comandos de movimiento incorporados al controlador y consecuentemente al robot 91 para generar movimientos apropiados.

En sentido amplio, La figura 10 muestra un diagrama de flujo que permite este control desde la entrada del usuario al movimiento del robot. Conceptualmente, la figura 10 muestra:

**Simulador de conducción + Háptica → software de control MediaMation™**

Este flujo de lógica implica la creación de una posición del cuerpo en el espacio y un cálculo de velocidad requerida. A continuación, estos datos se introducen en el controlador del robot para ejecutar el movimiento para ese segmento. En este contexto, 'segmento' se refiere a un segmento de movimiento en el entorno simulado que está siendo traducido a una acción de control a ejecutar por el controlador del robot.

Una característica útil de la plataforma UMS preferida es imitar los escenarios de movimiento real generando movimientos requeridos más pequeños pero altamente detallados en el receptáculo/cabina 97 usando sistemas hápticos. Esto se consigue a través de la retroalimentación de fuerza del sistema háptico tal como manipulador háptico, volante háptico 1113 y mecanismo de cambio de marchas y que refleja las fuerzas.

Los sistemas hápticos pueden generar movimientos detallados más finos como una respuesta al movimiento del brazo robot para proporcionar una experiencia cercana a la real del escenario del mundo real. Un ejemplo de dicho sistema puede ser la simulación de montar en una moto de alta cilindrada, donde un piloto al tomar una curva a alta velocidad tiene que inclinarse hacia el interior de la curva. En dichos escenarios simulados el brazo robot 99 genera el movimiento global pero las sensaciones de balanceo del piloto solamente pueden ser generadas por el sistema háptico.

Para escenarios de simulaciones que implican análisis biomecánicos dinámicos y el desarrollo de modelos de simulación de movimiento humano precisos, puede establecerse una base de datos de movimientos empíricos derivada de metodologías de medición y procesamiento de datos, bien estandarizadas y eficaces. Esto puede obtenerse a partir de unidades de captura del movimiento almacenadas en una base de datos. Algunos centros de investigación ya pueden tener estos datos para facilitar la disponibilidad. Las mediciones precisas pueden conseguirse usando sistemas de captura de movimientos electromagnéticos y ópticos simultáneamente para registrar los datos de movimiento con una precisión y robustez muy elevadas. En la práctica, el dispositivo seguidor magnético 1112 puede proporcionar la información posicional y de orientación de diferentes partes del cuerpo tales como la ubicación de los brazos y las piernas con ángulos de flexión de las articulaciones mientras que el dispositivo seguidor óptico 1112 puede proporcionar la postura global del usuario. Ambos conjuntos de información se comparan y calibran entre sí para extraer la verdadera postura del usuario y, por consiguiente, datos robustos del movimiento humano. La figura 11 muestra una configuración de captura del movimiento humano usando dispositivos seguidores electromagnéticos y ópticos 1112 simultáneamente. Los dispositivos de seguimiento 1112 que usan la combinación de sensores de movimiento electromagnéticos y ópticos pueden proporcionar un grado de variación de la cantidad de información cinemática, rango espacial de medición, fuentes externas de ruido, tiempo de seguimiento del movimiento y abarca un mayor espacio de información de modo que la precisión de los modelos de simulación del movimiento humano pueden mejorarse mucho. La figura 12 muestra una configuración física para captura del movimiento humano usando dispositivos seguidores electromagnéticos y ópticos 1112 simultáneamente.

En referencia a las figuras 11 y 12, una vez que la entrada del usuario humano es recogida, puede usarse un controlador de movimiento (no mostrado) para proporcionar la respuesta, monitorización y/o simulación gráfica en 3D del robot. Este controlador puede basarse en un esquema de control del movimiento muy avanzado. La arquitectura de control del sistema se presenta en la figura 10b.

1310 es los controles de interacción del usuario para interactuar con el entorno de simulación. El módulo 1410 sigue al usuario para sincronizar el movimiento y la visualización del usuario. Los motores físicos 1510 controlan el comportamiento físico de objetos gráficos, mientras que el módulo 1610 es responsable del registro de los gráficos. El módulo de calibración 1710 mantiene al hardware y la visualización sincronizados durante la simulación. 1810 Controla el accionamiento del brazo robot. El módulo de adquisición de fuerza 1910 desencadena la retroalimentación háptica. 2010 representa el depósito de datos requeridos para la simulación. El entorno de simulación 2110 controla la interactividad de diferentes módulos. Se genera retroalimentación de audio y visual 2210 para el usuario en respuesta a diferentes eventos en la simulación. El módulo de interfaz del usuario gráfica 2310 proporciona al operario información visual a través de una pantalla 2410. El controlador del robot 2510 es responsable de controlar el movimiento final del robot. El controlador háptico 2610 es responsable de controlar el movimiento final del robot. Los accionadores hápticos 2710 proporcionan las fuerzas hápticas a alguna parte particular del cuerpo del operario.

Es capaz de proporcionar respuestas del robot extremadamente rápidas a cualesquiera comandos del robot de bajo o alto ancho de banda. En la práctica, el control del movimiento puede ser una pieza de software que es ejecutada en el controlador del robot (no mostrado) para proporcionar el movimiento al receptáculo 97.

Un atributo del software controlador asociado permite la generación de trayectorias del robot que tienen un nivel programable de tirones en las articulaciones (comodidad del operario) y están libres de un súbito cambio de curvatura.

El sistema también puede permitir acceso completo en tiempo real a diversas variables del robot de alto y bajo nivel, incluyendo posiciones de las articulaciones, corrientes de la articulación, velocidad de la articulación y

representación gráfica en línea de las trayectorias.

Una vez configurado completamente, el sistema puede usarse como un simulador de formación en tiempo real capaz de responder a la entrada del usuario en el momento en el que está ocurriendo el evento, y mecánicamente capaz de moverse en cualquier dirección en cualquier momento. La captura del movimiento puede usarse para determinar la posición humana en el receptáculo 97 en el espacio. El sistema puede usar estos datos y la entrada procedente de los dispositivos hápticos 94 para determinar el siguiente curso de acción. El robot puede estar adaptado para responder a señales de entrada procedentes del dispositivo háptico.

La instalación de plataforma UMS propuesta mejorará significativamente las capacidades de investigación y desarrollo especialmente para investigación orientada a la industria de la automoción. Dado que la industria de la automoción puede ser una de las piedras angulares de la economía mundial o de economías individuales, el UMS propuesto puede permitir a la industria mantener una ventaja respecto a sus competidores extranjeros y contribuirá de forma significativa a la sostenibilidad de una economía dada.

El experto en la materia apreciaría que realizaciones de la presente invención pueden aplicarse en, por ejemplo, entornos que son adecuados para proporcionar telepresencia aunque esto no se tomará como ejemplo de uso limitante. En aplicaciones de telepresencia, el entorno que experimenta un usuario puede ser real pero demasiado extraño o peligroso para visitarlo en realidad. Habitualmente alguna forma o robot o quizás solamente un brazo robótico puede llevar sensores que atestiguan el entorno y envían información de vuelta al usuario. Estos entornos pueden relacionarse con campos tales como, por ejemplo, lucha contra incendios, cirugía y exploración de entornos extremadamente remotos como Marte por un robot y un beneficio de dichos sistemas de telepresencia es que pueden usarse para extender los sentidos de un usuario más allá de sus capacidades normales. Por ejemplo, está previsto que sensores infrarrojos o ultravioletas puedan tener sus salidas remapeadas en el espectro visible para permitir a un usuario ver eventos que normalmente pueden ser invisible y, robots equipados con contadores de radiación pueden usarse para explorar dentro de las partes de centrales nucleares donde es inseguro que estén los seres humanos. Por ejemplo, el robot puede comprobar áreas dañadas e informar sobre el nivel de radiación sin poner en peligro al operario.

Una tercera realización descrita se refiere, en una forma, a tecnología háptica y su uso para el control de plataformas móviles. "Plataforma móvil" se refiere a sistemas que tienen la capacidad de moverse de un lugar a otro. Dichas plataformas incluyen, aunque sin limitarse a ellos, sistemas robóticos móviles, vehículos terrestres de pasajeros y vehículos aéreos no tripulados.

La figura 13 ilustra sistemas hápticos 138 de acuerdo con la tercera realización. El módulo 139 ilustra componentes del sistema 138 que normalmente estarían montados a bordo de una plataforma móvil tal como la plataforma 2a tal como se muestra en la figura 1a. El módulo 1311 ilustra los componentes del sistema 138 que normalmente estarían montados próximos al usuario, incluyendo dentro de la sonda háptica 3a tal como se muestra en la figura 1a. El módulo 139 comprende un microcontrolador 1312 junto con un controlador de movimiento 1313, un controlador del motor PID (proporcional-integral-diferencial) 1314, monitores y codificadores 1316, una cámara de a bordo 1317, un receptor GPS 1318 y una unidad de medición inercial (IMU) de 6 ejes 1319, sensores sonar 1321 y módulo ASHA 1322.

Estos componentes que comprenden el módulo 139 pueden operar en la plataforma 2a de la figura 1a. El código de programa en el microcontrolador 1312 es responsable del preprocesamiento y el control de sistemas sensoriales de nivel bajo tales como los sensores de sonar 1321. El controlador del motor PID 1314 es su propio módulo de hardware. El controlador de movimiento 1313 y el módulo ASHA 1322 existen en código de programa ejecutable en el ordenador incorporado en las plataformas. El módulo ASHA 1322 recibe toda la información requerida del controlador de movimiento 1313, el controlador del motor PID 1314, los sensores de sonar 1321 (mediante el microcontrolador 1312), el GPS 1318 y la IMU de 6 ejes 1319. El controlador de movimiento 1313, actuando bajo el control del ICHA 1323, genera ajustes de control del movimiento que son enviados al controlador del motor PID 1314. El controlador del motor PID 1314 alcanza a continuación un control en bucle cerrado de los motores 1316 basado en la retroalimentación del codificador 1316.

Los sistemas sensoriales en la plataforma móvil comprenden la IMU de 6 ejes 1319, el GPS 1318 y los sensores de sonar 1321. El GPS 1318 y la IMU 1319 establecen una interfaz directamente con el módulo ASHA 1322 (implementación de software en el ordenador de a bordo) usando comunicación RS-232 en serie. Los sensores de sonar 1321 están controlados por el microcontrolador 1312 que a continuación transmite la información sensorial apropiada al módulo ASHA 1322 (implementación de software en el ordenador de a bordo) usando comunicación RS-232 en serie.

El módulo de control del operario 1311 comprende una interfaz háptica adecuada 1324 (tal como el dispositivo háptico 3a ilustrado en la figura 1a) y un aumento del control háptico de entrada (ICHA/IHCCS) 1323. La interfaz háptica 1324 recibe entradas físicas (tales como el movimiento de la sonda 5a de la figura 1a) del operario y suministra aumento háptico de vuelta al operario. La construcción y el funcionamiento del ICHA 1323, y sus interacciones con la interfaz háptica 1324, se describen con más detalle a continuación.

La figura 14 ilustra una superficie de control renderizada hápticamente 26 que es presentada al usuario de acuerdo con la tercera realización.

De acuerdo con la realización descrita actualmente, la superficie virtual renderizada hápticamente 26 se consigue usando hardware convencional y software de control apropiado. La superficie virtual renderizada hápticamente 26, puede ser "sentida" o "tocada" por el usuario dependiendo del dispositivo háptico implementado particular. Los dispositivos adecuados incluyen aunque sin limitarse a, los dispositivos PhantoM™ Omni™, de mesa y Premium; y el Falcon™ de Novint™ Technologies.

La forma preferida de la superficie de control háptico 26 está diseñada para servir como indicador al operario de los valores de velocidad lineal de entrada comandada "v" y velocidad angular "w" de una plataforma remota. Es decir, la forma de la superficie de control háptico 26 está definida por la siguiente ecuación:

$$[(k_1 \cdot v)^2 + (k_2 \cdot \omega)^2]^{1/2} = k_3 \cdot z \quad (1)$$

15

donde

$k_1$  y  $k_2$  convierten a escala los intervalos apropiados de v y w una con respecto a otra

20

$k_3$  es una constante relacionada con la pendiente de ese cono particular; y

Dados valores apropiados de  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$ , el valor de z (altura) para cualquier punto (v, w) viene dado por

$$z = [(k_1 \cdot v)^2 + (k_2 \cdot \omega)^2]^{1/2} / k_3 \quad (2)$$

25

Sujeta a las velocidades máximas deseadas lineal (v) y angular (w)

$$[(k_1 \cdot \text{Max } v)^2 + (k_2 \cdot \text{Max } \omega)^2]^{1/2} = k_3 \cdot \text{Max } z \quad (3)$$

30

donde

Max v y Max w representan las velocidades máximas deseadas de la plataforma. Considerando el uso del Phantom™ Omni™ de Sensable Technologies (<http://www.sensable.com/>) y el Pioneer™ P3DX Mobile Robot (<http://www.activrobots.com/ROBOTS/p2dx.html>) como una combinación específica de dispositivos de hardware.

35

El Phantom™ Omni™ ofrece un espacio de trabajo háptico utilizable de 160W x 120H x 70D. El Pioneer™ P3DX ofrece una velocidad lineal publicada máxima (v) de 1,6 metros por segundo. La velocidad angular adecuada (w) necesita ser determinada empíricamente, sin embargo para los fines de explicación, consideramos una velocidad angular máxima factible que sea de 0,5 rotaciones completas (180 grados) por segundo. También es necesario considerar que, en realidad, las velocidades lineal y angular individuales máximas pueden no ser alcanzables cuando se incluyen contribuciones significativas de cada una.

40

Como tal, se considera la velocidad lineal máxima de 1 metro por segundo y velocidad angular de 0,25 rotaciones completas por segundo. Los factores de conversión a escala de  $k_1$ ,  $k_2$  sirven a dos propósitos, convertir a escala  $k_1$  y  $k_2$  uno con respecto al otro y convertir a escala las dimensiones a la del espacio de trabajo del dispositivo háptico implementado. El dispositivo ofrece un espacio de trabajo de 160W x 120H x 70D, que representan las dimensiones w, v, altura respectivamente (véase la figura 14), y como tal la profundidad de 70 mm es el factor limitante. Seleccionando un intervalo nominal de 65 mm a lo largo de ambos ejes w y v,  $k_1$  y  $k_2$  se seleccionan apropiadamente donde:

50

para

$$\omega, 0,25 \cdot k_2 = 65/2$$

55

y v

$$v, 1 \cdot k_1 = 65/2$$

que cumple

60

$$[(k_1 \cdot \text{Max } v)^2 + (k_2 \cdot \text{Max } \omega)^2]^{1/2} = k_3 \cdot \text{Max } z$$

donde  $k_3$  se selecciona apropiadamente.

#### Implementación de ICHA independiente de ASHA

5 Cuando el ICHA se va a considerar de forma independiente, existen metodologías preferidas alternativas para  
 10 renderizar la superficie háptica virtual requerida. Un método adecuado para renderizar la superficie cónica háptica  
 virtual proporciona renderizado por fuerza en la dirección Z solamente. Dada una posición Z real, dado por  $Z_{real}$  y  
 una posición Z deseada dada por la ecuación 2, la diferencia (entre la posición Z, dada por  $Z_{real}$ ) puede usarse  
 mediante diversas técnicas de control para renderizar la superficie deseada. Existen diversas técnicas probadas  
 15 para renderizar superficies hápticas y la visualización de fuerzas hápticas para un usuario. Dichos métodos incluyen  
 el uso de modelos de masa-resorte-amortiguador, masa-resorte y resorte, y proporcional-integral-control (PID). El  
 método real empleado depende de diversos factores tales como las características del dispositivo háptico empleado,  
 si las bibliotecas de software del dispositivo proporcionan dichas funciones de software preconstruidas, así como la  
 rigidez o dureza deseada de la superficie cónica renderizada. En general, la posición de la sonda háptica (x,y,z)  
 20 necesita ser monitorizada y las fuerzas apropiadas aplicadas, dada la estrategia de control implementada. Existen  
 diversos métodos de control probados para renderizar dichas superficies.

La figura 17 muestra la diferencia entre la superficie de control háptico plana de 2-D existente  
 (<http://citeseer.ist.psu.edu/705176.html>) y la ICHA en 3-D descrita anteriormente. En la figura 17,  $v$  y  $\omega$  indican las  
 20 velocidades lineal y angular respectivamente de una plataforma 2a tal como se muestra en la figura 1a. Tal como se  
 muestra en la figura 17, los desplazamientos ortogonales de una sonda háptica 3a de la figura 1a desde el origen en  
 dos dimensiones significan los valores de velocidades lineal y angular introducidas comandadas a la plataforma  
 remota. En contraste, tal como se ha descrito anteriormente en referencia a las ecuaciones (1), (2) y (3) y la figura  
 14, de acuerdo con la tercera realización, el usuario está limitado a mover la sonda de entrada 3a de conformidad  
 25 con una superficie tridimensional en la que el desplazamiento de la sonda en la tercera dimensión (la altura Z en la  
 figura 14) también es indicativa de los valores de velocidad lineal y angular.

Las figuras 17a y 15 ilustran diferencias de rendimiento entre la disposición de la técnica anterior de la figura 17 y la  
 30 tercera realización de acuerdo con la figura 14.

En particular, la figura 15 muestra la capacidad del operario para devolver la entrada de comando a un estado de  
 movimiento cero usando un ICHA de acuerdo con la figura 14. Proporcionando comandos de movimiento, el operario  
 puede aprovechar la geometría del cono para retornar a una posición 0,0,0. Cuando un operario tiene experiencia en  
 operar con una superficie de un gradiente dado, entonces el operario será capaz de juzgar la velocidad comandada,  
 35 basándose en el desplazamiento vertical de la sonda háptica. Se verá a partir de las figuras 17a y 15 que, usando  
 ICHA de acuerdo con la tercera realización, las velocidades angular y lineal reales de la plataforma remota 2a  
 ambas simultáneamente vuelven directamente a cero mientras que, en el sistema de acuerdo con la figura 17, existe  
 un sobreimpulso de velocidades lineal y angular ambas sobreimpulsadas a cero antes de volver a cero.

40 La forma cónica preferida de la ICHA proporciona atributos únicos a un usuario que está controlando el movimiento  
 de una plataforma móvil. Las propiedades geométricas de un cono dan como resultado la convergencia a un punto  
 particular en la superficie de control renderizada hápticamente. El usuario es fácilmente capaz de determinar un  
 estado de comando de velocidad cero siguiendo la superficie cónica a su punto de convergencia. Adicionalmente, el  
 gradiente de la superficie del cono proporciona al usuario, particularmente un usuario experimentado, una indicación  
 45 de la actual velocidad comandada. Cuando un operario tiene experiencia en operar con una superficie de un  
 gradiente dado, entonces el operario será capaz de juzgar la velocidad comandada, basándose en el  
 desplazamiento vertical de la sonda háptica.

#### Implementación de ICHA integrado con ASHA

50 De acuerdo con aspectos alternativos de la tercera realización preferida, ICHA y ASHA se integran y se presentan al  
 operario por medio de una única superficie de control renderizada hápticamente 26.

55 Cuando el movimiento de la plataforma remota 2a es tal que no hay ASHA siendo generado, el movimiento de la  
 sonda háptica sobre la superficie virtual 26 no tiene oposición, está sujeto solamente a la limitación impuesta al  
 movimiento por los límites máximos de velocidad angular y lineal. Cuando el movimiento de la plataforma remota 2a  
 es tal que es necesario proporcionar ASHA al operario, es el caso de que el usuario puede reconocer fácilmente las  
 fuerzas que implementan el ASHA y distinguir fácilmente el ASHA del ICHA.

60 Dado que un dispositivo háptico necesita ser programado adecuadamente para renderizar hápticamente  
 cualesquiera superficies y/o fuerzas virtuales para implementar esta estrategia, existen dos componentes que  
 requieren consideración. Estos son el renderizado háptico del ICHA y el renderizado háptico simultáneo del ASHA.  
 Como tal, en la implementación de esta estrategia, cualquier fuerza háptica renderizada instantánea será una  
 combinación simultánea apropiada de la fuerza requerida para renderizar el ICHA, así como cualquier ASHA  
 65 requerido. Existen varias posibles estrategias diferentes que pueden asumirse para renderizar la superficie háptica  
 virtual requerida. Un método preferido para determinar la fuerza real requerida para renderizar el aumento háptico

que actúa por el ICHA es la combinación vectorial de fuerzas renderizadas hápticamente. Esto se explica adicionalmente en la figura 16, donde  $F_b$  indica los componentes de fuerza de aumento háptico y  $F_a$  indica los componentes de fuerza de ICHA.

5 La figura 18 muestra un diagrama de flujo que ilustra el procesamiento 1800 para proporcionar tanto ICHA como AHSA.

En la etapa 1802, el dispositivo háptico se inicializa.

10 En la etapa 1803, se evalúan los parámetros del ICHA. Estos parámetros comprenden la velocidad lineal máxima  $Max v$ , la velocidad angular máxima  $Max w$  y los factores de conversión a escala  $k_1, k_2, k_3$ .

En la etapa 1804 se toma una decisión de si se requiere ASHA. Si se requiere ASHA, entonces la magnitud de los componentes de fuerza en las direcciones  $w$  y  $v$  se reciben desde ASHA (etapa 1805), si no se requiere ASHA, entonces los componentes de fuerza de la ASHA son cero (etapa 1806).

15 En la etapa 1807 se determina la fuerza requerida para renderizar el ICHA en solitario.

En la etapa 1808 se determina la fuerza resultante combinando ICHA y ASHA

20 En la etapa 1809 se renderizan las fuerzas hápticas resultantes.

Aunque la presente invención se ha descrito en referencia a unas pocas realizaciones específicas, la descripción es ilustrativa de la invención y no debe interpretarse que limita la invención. Diversas modificaciones pueden ocurrírseles a los expertos en la materia sin alejarse del alcance de la invención según lo definido por las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, un experto en la materia reconocerá que realizaciones de la invención descritas en el presente documento pueden implementarse usando uno o más ordenadores. En ese caso, las etapas del método desveladas en el presente documento pueden realizarse como instrucciones que comprenden un programa informático. El programa puede estar almacenado en medios legibles por ordenador, tales como disquetes, discos ópticos (por ejemplo, discos compactos), o discos fijos (tales como discos duros y similares), y pueden ser residentes en memoria, tal como, por ejemplo memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de solo lectura (ROM), *Firmware*, o memoria RAM flash. El programa como software puede ser ejecutado a continuación en un ordenador o dispositivo microprocesador para implementar el método. El programa o partes de su ejecución, también pueden estar distribuidas en múltiples ordenadores o servidores en una red que tiene una topología correspondiente a uno o una combinación de: una pequeña área tal como en una LAN (Red de Área Local); una gran área de campus o urbana tales como en una MAN (Red de Área Metropolitana) o; una amplia área geográfica tal como en una WAN (Red de Área Amplia). Como un ejemplo, la primera realización descrita en el presente documento puede ser adecuada para su uso con una implementación de red informática de un sistema de control de calidad (QA) o mantenimiento para fallos de diagnóstico y módulos de servicio o instrumentos para realizar servicio y reparaciones y mejoras a software del instrumento desde una plataforma remota o un controlador o microcontrolador central.

45 Debe observarse que donde se usan los términos "servidor", "servidor seguro" o términos similares en el presente documento, se describe un dispositivo de comunicación que puede usarse en un sistema de comunicación, a menos que el contexto requiera otra cosa, y no debe interpretarse que limita la presente invención a ningún tipo de dispositivo de comunicación particular. Por lo tanto, un dispositivo de comunicación puede comprender, sin limitación, un puente, router, puente-enrutador (enrutador), interruptor, nodo, u otro dispositivo de comunicación, que puede ser o no seguro.

50 Debe observarse también que donde se usa un diagrama de flujo, conjunto de reglas o su equivalente en el presente documento para demostrar diversos aspectos de la invención, no debe interpretarse que limita la presente invención a ningún flujo lógico o implementación lógica particular. La lógica descrita puede dividirse en diferentes bloques lógicos (por ejemplo, programas, módulos, funciones o subrutinas) sin cambiar los resultados globales o alejarse de otro modo del auténtico alcance de la invención. A menudo, pueden añadirse, modificarse, omitirse, realizarse elementos lógicos en un orden diferente, o implementarse usando construcciones lógicas diferentes (por ejemplo, compuertas lógicas, primitivas de bucle, lógica condicional, y otras construcciones lógicas) sin cambiar los resultados globales o alejarse de otro modo del auténtico alcance de la invención.

60 Diversas realizaciones pueden realizarse en muchas formas diferentes, que comprenden lógica de programa informático para uso con un procesador (por ejemplo, un microprocesador, microcontrolador, procesador de señales digitales u ordenador de uso general), lógica programable para uso con un dispositivo lógico programable (por ejemplo, una Matriz de Compuertas Programable de Campo (FPGA) u otro PLD), componentes discretos, circuitos integrados (por ejemplo, un Circuito Integrado Específico de Aplicación (ASIC)), o cualquier otro medio que comprende cualquier combinación de los mismos. En una realización a modo de ejemplo, principalmente toda la comunicación entre usuarios y el servidor se implementa como un conjunto de instrucciones de programa informático que se convierte en una forma ejecutable por ordenador, almacenado como tal en un medio legible por

ordenador, y ejecutado por un microprocesador bajo el control de un sistema operativo.

La lógica del programa informático que implementa toda o parte de la funcionalidad donde se describió en el presente documento puede realizarse en diversas formas, que comprenden una forma de código fuente, una forma ejecutable por ordenador, y diversas formas intermedias (por ejemplo, formas generadas por un ensamblador, compilador, enlazador o localizador). El código fuente puede comprender una serie de instrucciones de programa informático implementadas en cualquiera de diversos lenguajes de programación (por ejemplo, un código objeto, un lenguaje ensamblador, o un lenguaje de alto nivel tales como Fortran, C, C++, JAVA, o HTML) para su uso con diversos sistemas operativos o entornos operativos. El código fuente puede definir y usar diversas estructuras de datos y mensajes de comunicación. El código fuente puede estar en una forma ejecutable por ordenador (por ejemplo, mediante un intérprete), o el código fuente puede convertirse (por ejemplo, mediante un traductor, ensamblador o compilador) en una forma ejecutable por ordenador.

El programa informático puede estar fijado en cualquier forma (por ejemplo, forma de código fuente, forma ejecutable por ordenador o una forma intermedia) permanentemente o de forma transitoria en un medio de almacenamiento tangible, tal como un dispositivo de memoria semiconductor (por ejemplo, una RAM, ROM, PROM, EEPROM o RAM Flash programable), un dispositivo de memoria magnético (por ejemplo, un disquete o disco fijo), un dispositivo de memoria óptica (por ejemplo, un CD-ROM o DVD-ROM), una tarjeta de PC (por ejemplo, tarjeta PCMCIA), u otro dispositivo de memoria. El programa informático puede estar fijado en cualquier forma en una señal que es transmisible a un ordenador usando cualquiera de diversas tecnologías de comunicación, incluyendo, aunque sin limitarse en absoluto a, tecnologías analógicas, tecnologías digitales, tecnologías ópticas, tecnologías inalámbricas (por ejemplo, Bluetooth), tecnologías de conexión de redes, y tecnologías de interconexión de redes. El programa informático puede distribuirse en cualquier forma como un medio de almacenamiento desmontable con documentación impresa o electrónica adjunta (por ejemplo, software listo para usar), precargado con un sistema informático (por ejemplo, en sistema ROM o disco fijo), o distribuido desde un servidor o tablón de anuncios electrónico en el sistema de comunicación (por ejemplo, Internet o *World Wide Web*).

La lógica de hardware (que comprende lógica programable para su uso con un dispositivo lógico programable) que implementa toda o parte de la funcionalidad donde se describió en el presente documento puede estar diseñada usando métodos manuales tradicionales, o puede diseñarse, capturarse, simularse, o documentarse electrónicamente usando diversas herramientas, tales como Diseño Asistido por Ordenador (CAD), un lenguaje de descripción del hardware (por ejemplo, VHDL o AHDL), o un lenguaje de programación PLD (por ejemplo, PALASM, ABEL, o CUPL).

La lógica programable puede estar fijada permanentemente o de forma transitoria en un medio de almacenamiento tangible, tal como un dispositivo de memoria semiconductor (por ejemplo, una RAM, ROM, PROM, EEPROM o RAM Flash programable), un dispositivo de memoria magnético (por ejemplo, un disquete o disco fijo), un dispositivo de memoria óptica (por ejemplo, un CD-ROM o DVD-ROM), u otro dispositivo de memoria. La lógica programable puede estar fijada en una señal que es transmisible a un ordenador usando cualquiera de diversas tecnologías de comunicación, incluyendo, aunque sin limitarse en absoluto a, tecnologías analógicas, tecnologías digitales, tecnologías ópticas, tecnologías inalámbricas (por ejemplo, Bluetooth), tecnologías de conexión de redes, y tecnologías de interconexión de redes. La lógica programable puede distribuirse como un medio de almacenamiento desmontable con documentación impresa o electrónica adjunta (por ejemplo, software listo para usar), precargado con un sistema informático (por ejemplo, en sistema ROM o disco fijo), o distribuido desde un servidor o tablón de anuncios electrónico en el sistema de comunicación (por ejemplo, Internet o *World Wide Web*).

Dado que la presente invención puede realizarse en varias formas sin alejarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas, debe entenderse que las realizaciones descritas anteriormente no deben limitar la presente invención a menos que se especifique otra cosa, sino que en su lugar debe interpretarse ampliamente dentro del alcance de la presente invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas. Diversas modificaciones y disposiciones equivalentes pretenden estar incluidas dentro del alcance de la presente invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas. Por lo tanto, debe entenderse que la segunda realización específica es ilustrativa de las muchas maneras en las que puede ponerse en práctica la presente invención. Por ejemplo, aquellos familiarizados con la técnica háptica reconocerán que existen muchas diferentes interfaces hápticas que convierten el movimiento de un objeto bajo el control de un usuario en señales eléctricas, muchas interfaces hápticas diferentes que convierten señales de fuerza generadas en un ordenador en fuerzas mecánicas que pueden ser experimentadas por un usuario, e interfaces hápticas que consiguen ambos resultados, todos y cada uno de los cuales pueden ser abarcados por la presente invención.

En las siguientes reivindicaciones, las cláusulas de medio más funcionales pretenden cubrir estructuras que realizan la función definida y no solamente equivalentes estructurales, pero también estructuras equivalentes. Por ejemplo, aunque un clavo y un tornillo pueden no ser equivalentes estructurales dado que un clavo emplea una superficie cilíndrica para fijar partes de madera juntas, mientras que un tornillo emplea una superficie helicoidal para fijar partes de madera juntas, en el entorno de fijar partes de madera, un clavo y un tornillo son estructuras equivalentes.

"Comprende/que comprende" cuando se usan en esta memoria descriptiva se toman para especificar la presencia de elementos, números enteros, etapas o componentes indicados pero no excluyen la presencia o adición de uno o más elementos, números enteros, etapas o componentes más o grupos de los mismos.

## REIVINDICACIONES

1. Un método de simulación de movimiento, comprendiendo el método las etapas de:  
proporcionar al menos seis grados de libertad de movimiento a un usuario asociando de forma operativa un brazo robot antropomórfico (99) con un receptáculo del usuario (97) para alojar todo el cuerpo del usuario, en el que el brazo robot (99) está adaptado para situar el receptáculo del usuario (97) en cualquier lugar en el plano X, Y y Z de un sistema de coordenadas cartesianas con cualquier orientación;  
proporcionar retroalimentación háptica al usuario en correspondencia con el movimiento del receptáculo del usuario (97) además de la sensación háptica en todo el cuerpo proporcionada por el brazo robot en solitario.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además una o una combinación de las siguientes etapas de:  
proporcionar a un usuario una percepción del entorno simulado; y  
seguir el movimiento del usuario.
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, que comprende además la etapa de una o una combinación de:  
generar una base de datos de movimientos empíricos constituida por datos de movimientos capturados para simular escenarios de simulación predeterminados y/o modelización;  
acceder a una base de datos de movimientos empíricos existente constituida por datos de movimientos capturados para simular escenarios de simulación predeterminados y/o modelización.
4. Un método de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, en el que seguir el movimiento comprende una o una combinación de información posicional y/o de orientación del cuerpo y/o partes del cuerpo del usuario y que se obtiene mediante uno o una combinación de:  
medios de captura de movimientos magnéticos;  
electromagnéticos; y  
ópticos (1112).
5. Aparato simulador de movimientos que comprende, en combinación:  
un brazo robot antropomórfico (99) adaptado para proporcionar al menos seis grados de libertad de movimiento;  
un receptáculo del usuario (97) para alojar todo el cuerpo de un usuario, estando dicho receptáculo del usuario (97) conectado de forma operativa al brazo robot antropomórfico (99), en el que el brazo robot (99) está adaptado para situar el receptáculo del usuario (97) en cualquier lugar en el plano X, Y y Z de un sistema de coordenadas cartesianas con cualquier orientación;  
una interfaz háptica asociada de forma operativa con el receptáculo del usuario (97) para proporcionar retroalimentación háptica al usuario en correspondencia con el movimiento del receptáculo del usuario (97) además de la sensación háptica en todo el cuerpo proporcionada por el brazo robot en solitario.
6. Aparato de acuerdo con la reivindicación 5, que comprende además:  
una interfaz de control del usuario asociada de forma operativa con el receptáculo del usuario (97) y el brazo robot (99) para proporcionar a un usuario una percepción del entorno simulado; y  
dispositivos de seguimiento (1112) para seguir el movimiento del usuario.
7. Aparato de acuerdo con la reivindicación 6, en el que la interfaz háptica está adaptada para retroalimentar el movimiento sometido a seguimiento del usuario a la interfaz de control del usuario para adaptar la percepción del usuario del entorno simulado.
8. Aparato de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende además medios de transformación para transformar la vista de un usuario mediante una cantidad negativa que complementa el movimiento sometido a seguimiento.
9. Aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que el movimiento sometido a seguimiento comprende uno o una combinación de:  
posición en coordenadas cartesianas X, Y y Z; y  
orientación que comprende viraje, cabeceo y rotación.
10. Aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 9, en el que el aparato está adaptado para proporcionar uno o una combinación de:  
al menos una referencia de movimiento principal generada por el brazo robot (99) y que corresponde a la posición y/o la orientación del receptáculo del usuario (97);  
al menos una referencia de movimiento secundario generada por al menos un accionador háptico (94) provisto en el receptáculo del usuario (97) y asociado de forma operativa con el usuario;  
al menos una referencia de retroalimentación de fuerza generada por el al menos un accionador háptico (94) para simular fenómenos físicos encontrados por el usuario en el entorno simulado.
11. Aparato adaptado para simular movimiento, comprendiendo dicho aparato:  
medios procesadores adaptados para operar de acuerdo con un conjunto de instrucciones predeterminadas,

estando dicho aparato, junto con dicho conjunto de instrucciones, adaptado para realizar el método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4.

- 5 12. Un programa informático que comprende instrucciones para, cuando se ejecuta en un procesador, llevar a cabo el método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4.

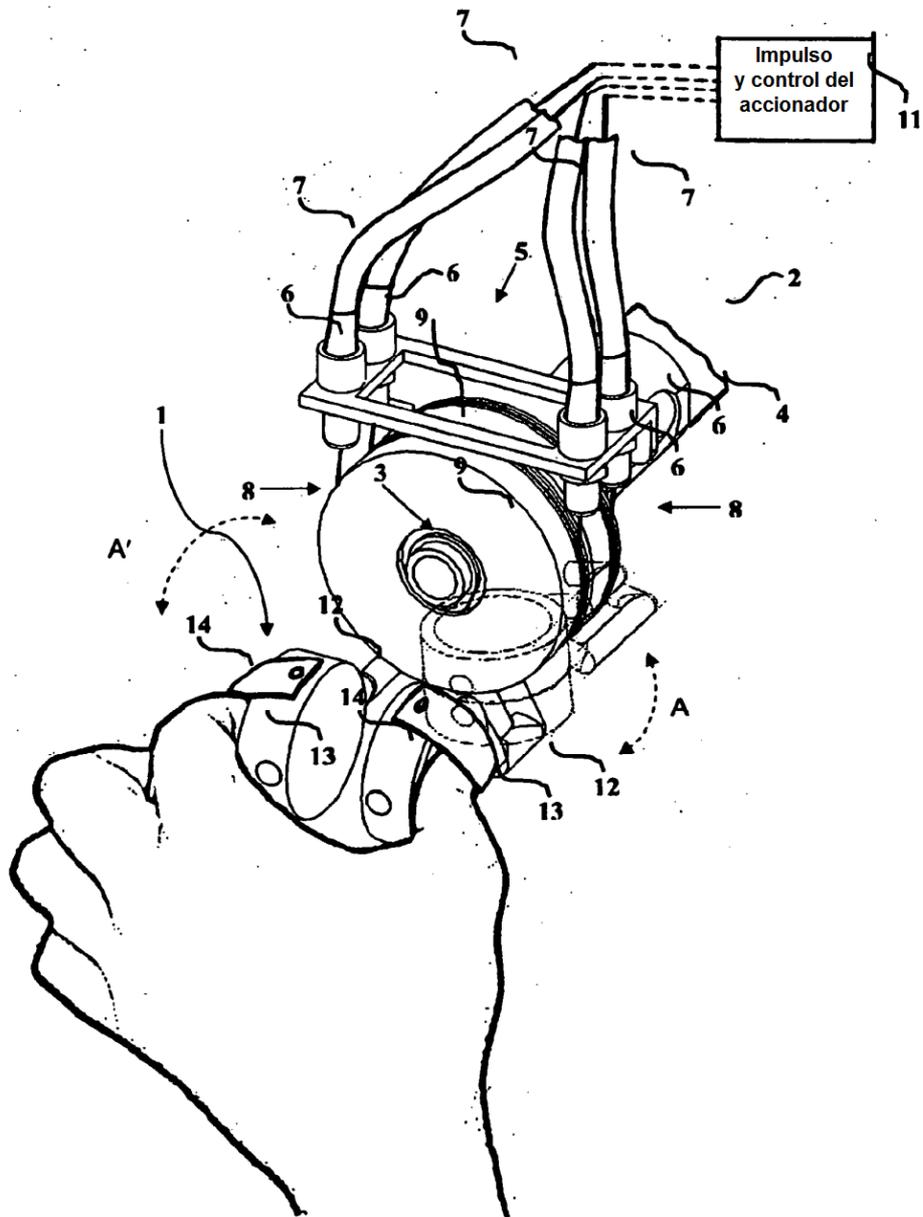


Figura 1

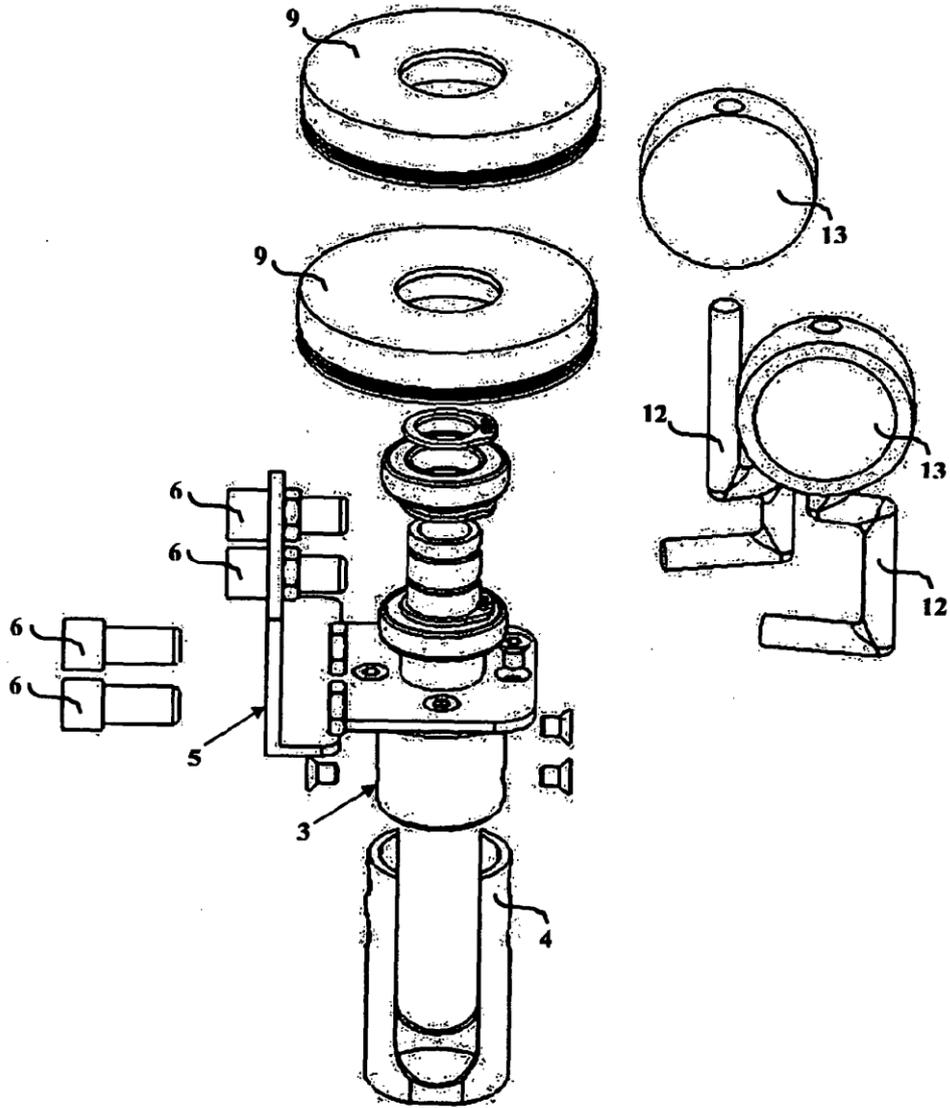


Figura 2

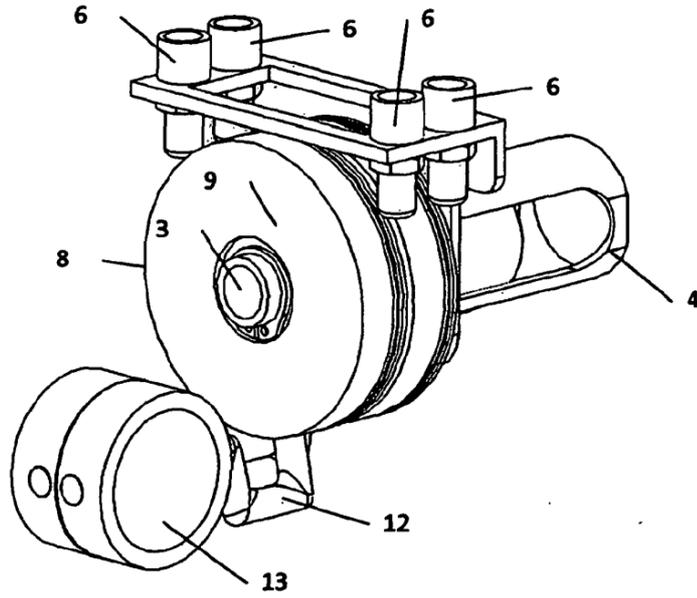


Figura 3

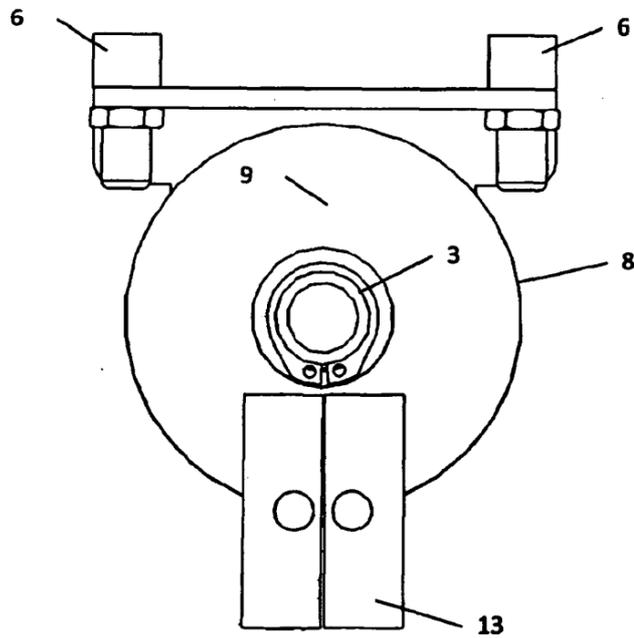


Figura 4

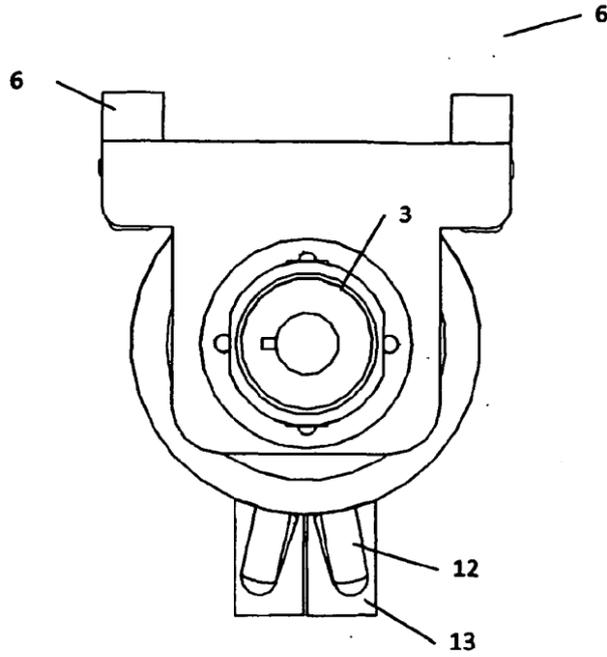


Figura 5

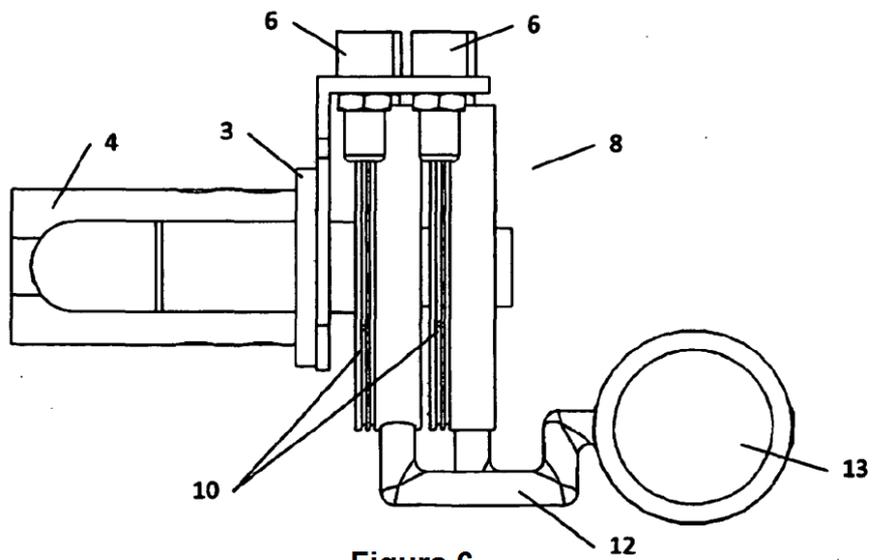


Figura 6

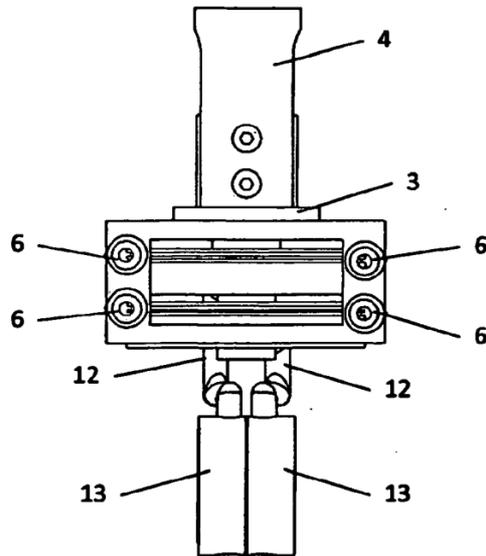


Figura 7

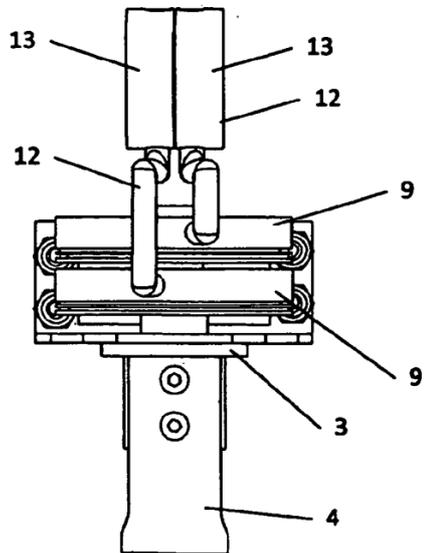


Figura 8

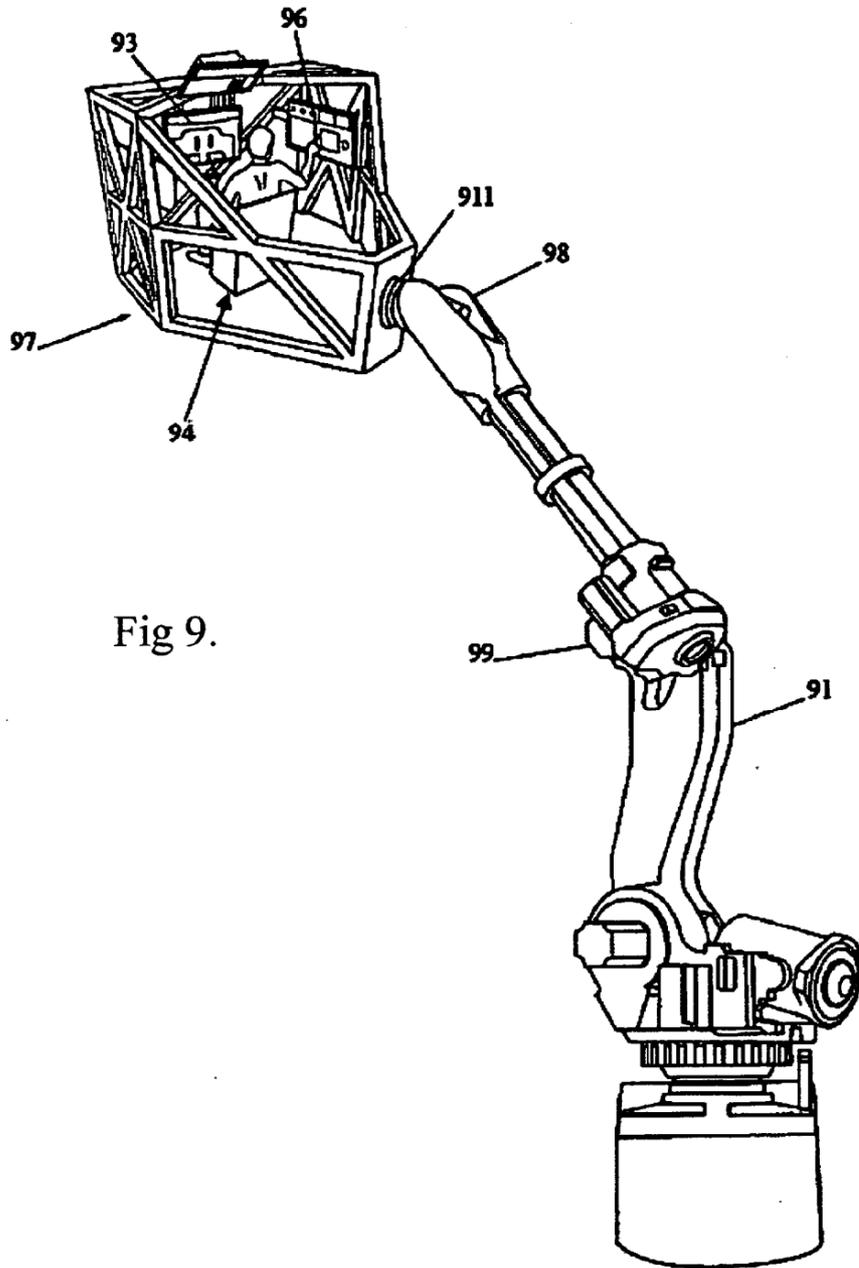


Fig 9.

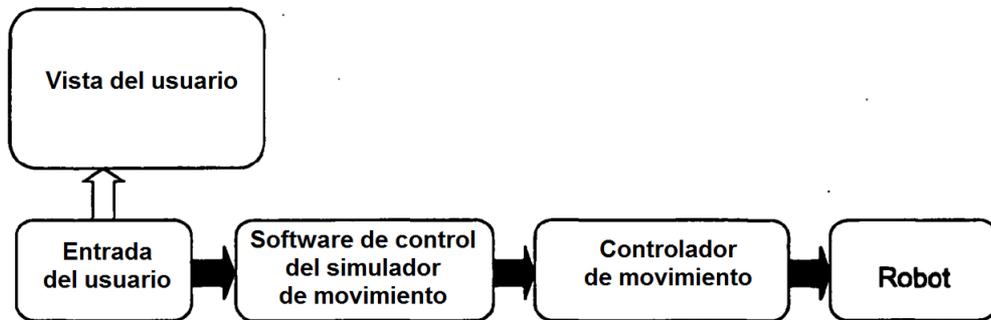


Figura 10

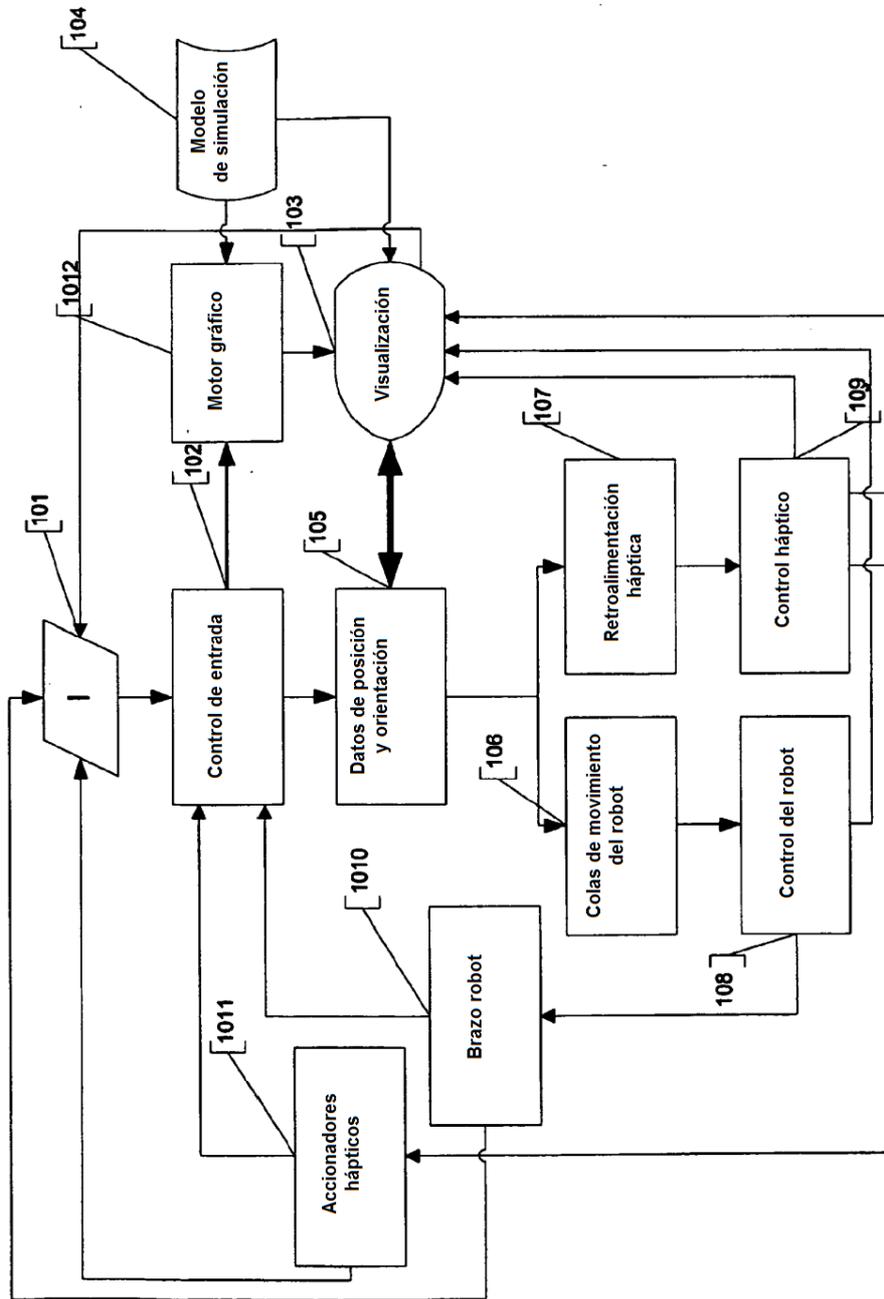


Figura 10a

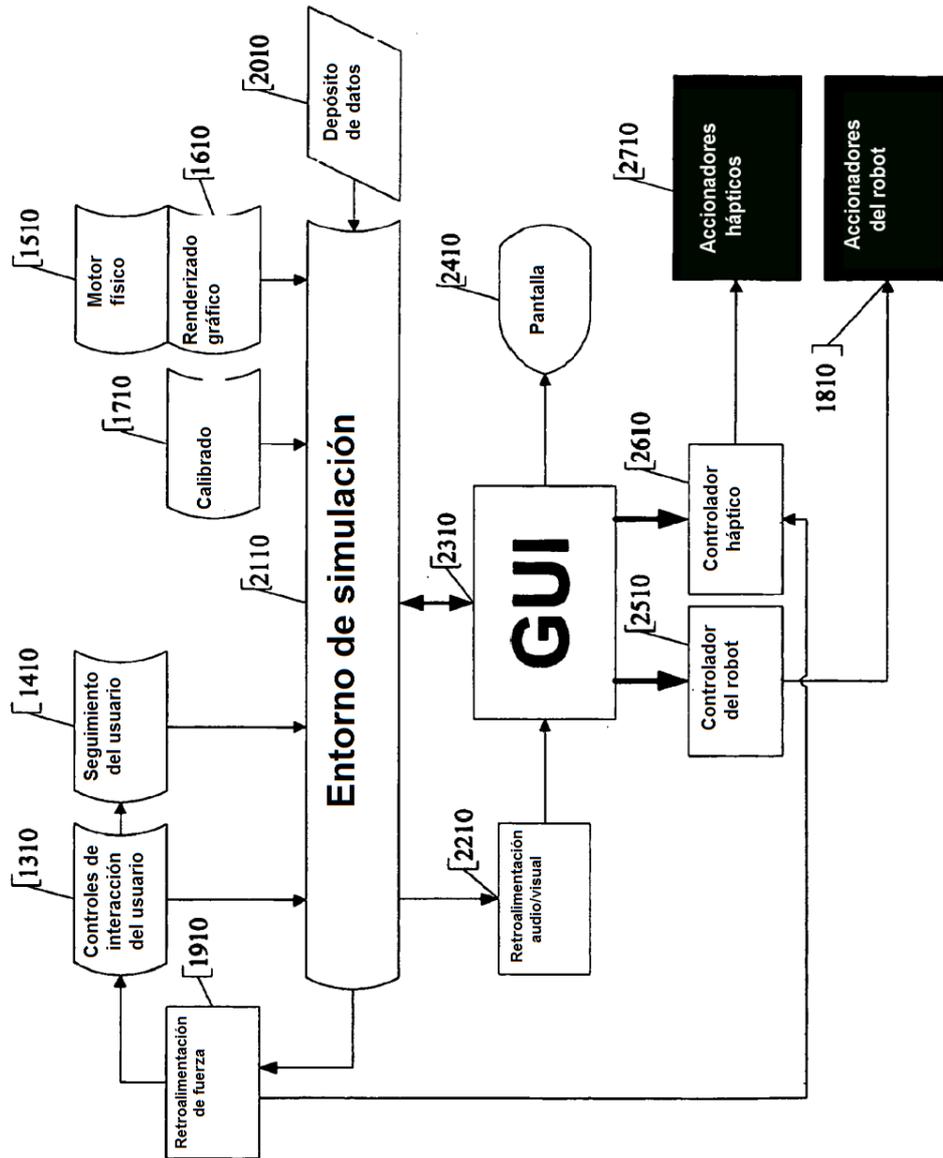


Figura 10b

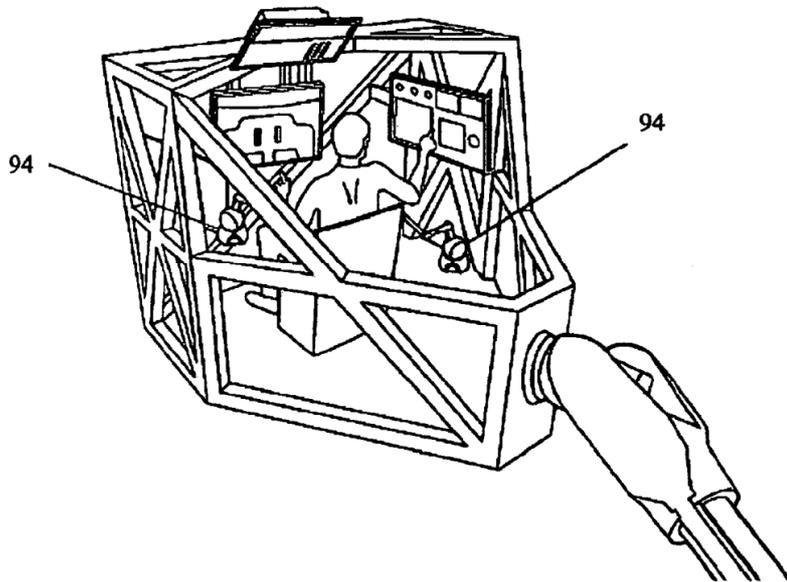


Figura 10c

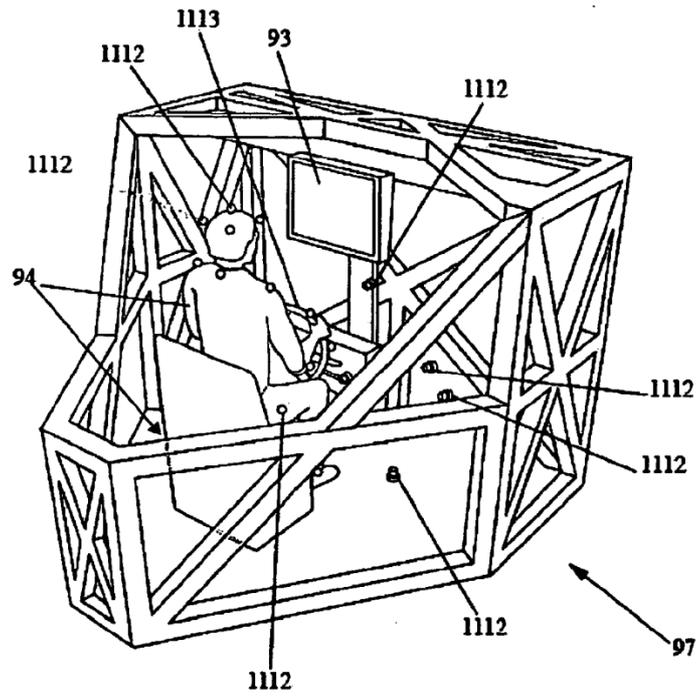


Figura 11

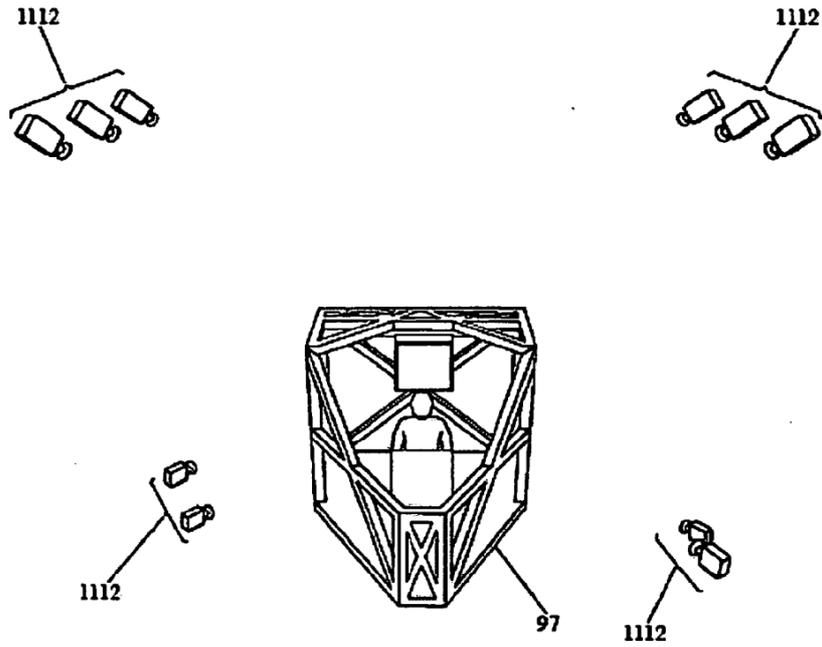
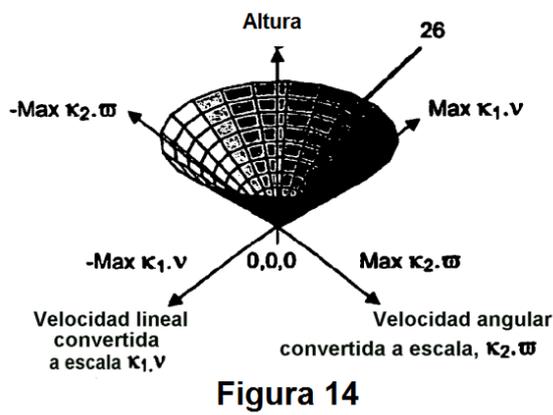
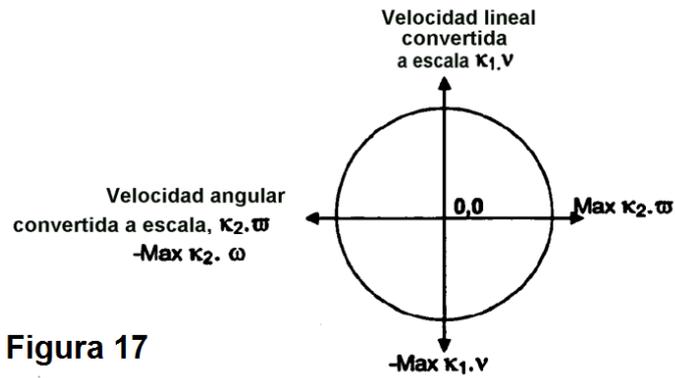
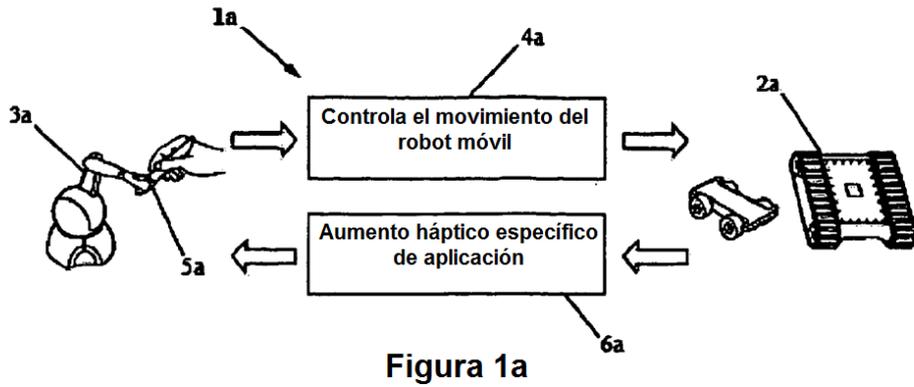


Figura 12



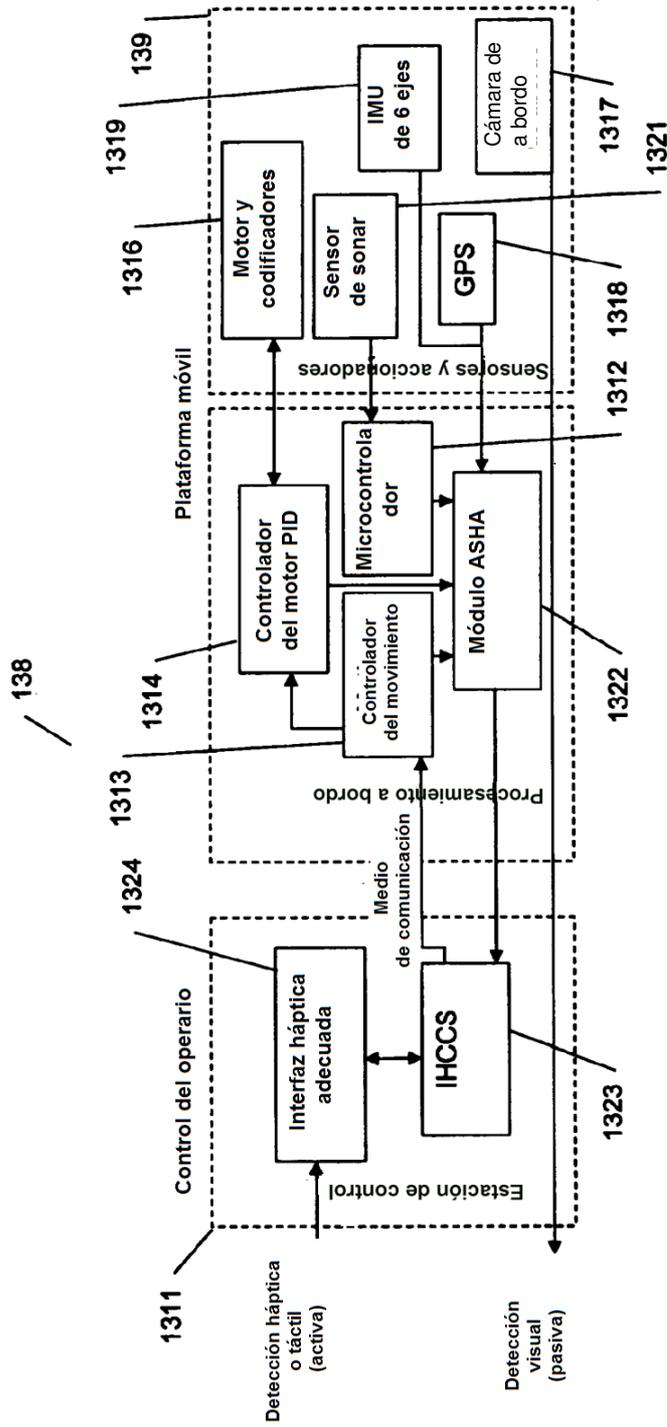


Figura 13

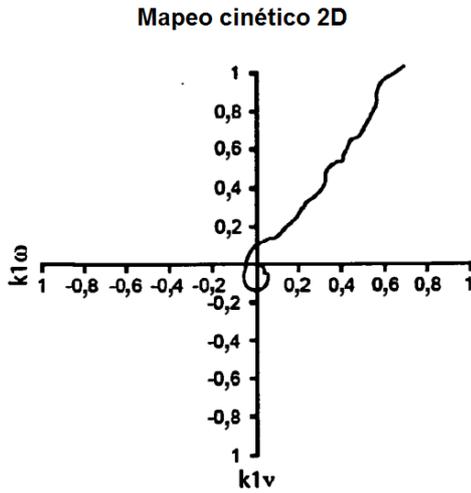


Figura 17a

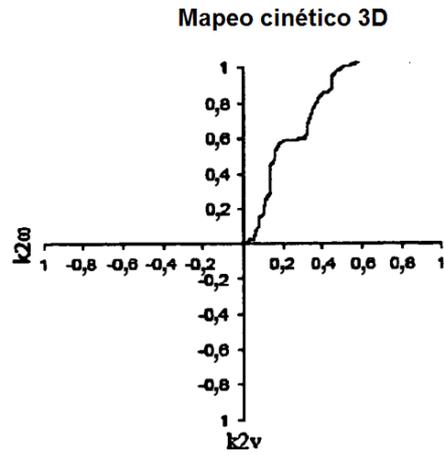
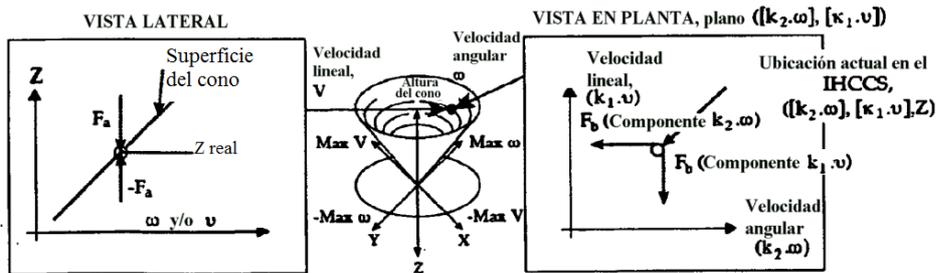


Figura 15

$F_b$  = Fuerzas de aumento háptico posibles



$F_a$  = Fuerza de la superficie del cono

Figura 16

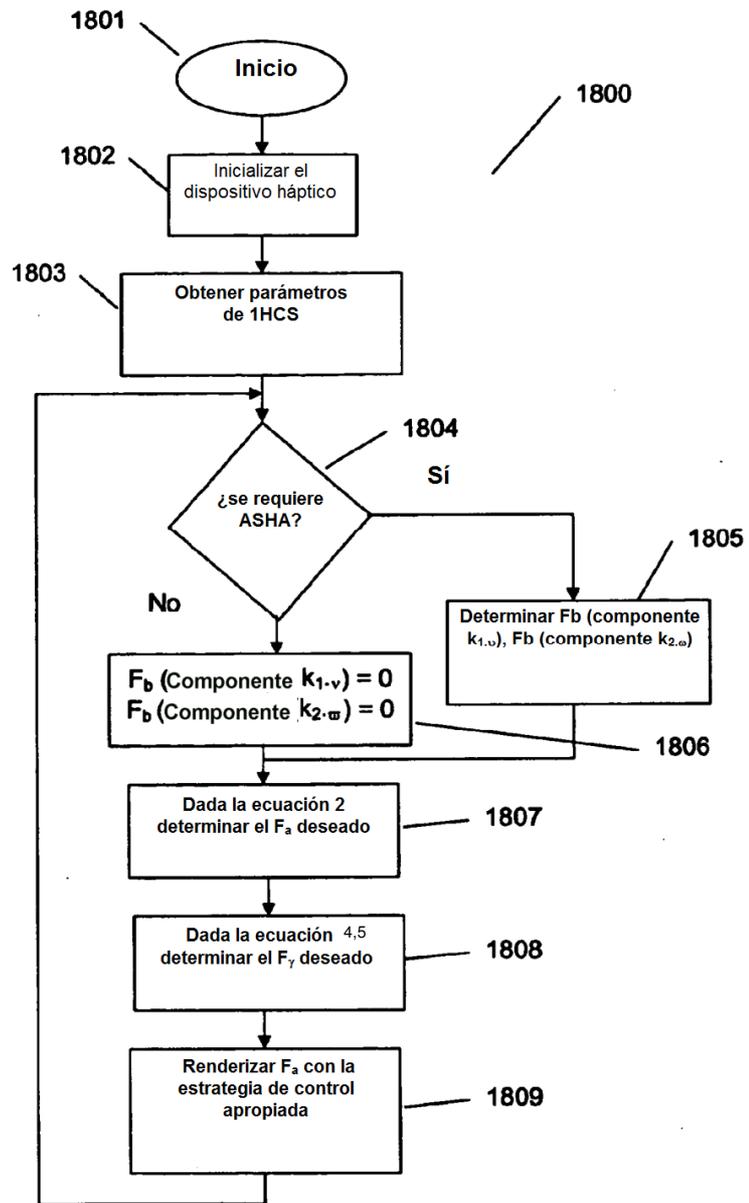


Figura 18