

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 912 405**

51 Int. Cl.:

<b>A61F 5/00</b>	(2006.01)
<b>A61B 5/00</b>	(2006.01)
<b>A61B 5/11</b>	(2006.01)
<b>A61H 3/00</b>	(2006.01)
<b>A61F 5/01</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.03.2014 PCT/US2014/024244**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **02.10.2014 WO14159577**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.03.2014 E 14775374 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2022 EP 2967959**

54 Título: **Interfaces de máquina a persona para la comunicación desde una ortesis de extremidades inferiores**

30 Prioridad:

**14.03.2013 US 201361781347 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.05.2022**

73 Titular/es:

**EKSO BIONICS, INC. (100.0%)  
1414 Harbour Way South Suite 1201  
Richmond, CA 94804, US**

72 Inventor/es:

**SANDLER, REUBEN;  
AMUNDSON, KURT;  
STRYKER, JAMES;  
STRAUSSER, KATHERINE;  
ZOSS, ADAM y  
SWIFT, TIM**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 912 405 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**

Interfaces de máquina a persona para la comunicación desde una ortesis de extremidades inferiores

5 Antecedentes de la invención

La presente invención se refiere a un dispositivo y a un método que ayudan en la rehabilitación y recuperación de la función muscular en pacientes con función o control muscular deteriorado. Más específicamente, la presente invención se refiere a un dispositivo y a un método adecuados para uso terapéutico con pacientes que tienen una función neuromuscular/muscular deteriorada de las extremidades, que comprende un sistema motorizado de aparatos ortopédicos y sistemas de control relacionados que potencia la función mejorada de las extremidades para actividades que incluyen, aunque no se limitan a, caminar.

Millones de personas sufren pérdida total o parcial de la capacidad para caminar. Este estado de discapacidad puede derivar de una lesión traumática, accidente cerebrovascular u otras dolencias médicas que causen trastornos que afecten al control muscular. Independientemente del origen, la aparición y la permanencia de la discapacidad para caminar pueden derivar en resultados físicos y/o psicológicos negativos adicionales para la persona afectada. Con el fin de mejorar la salud y la calidad de vida de los pacientes con discapacidad para caminar, es de gran utilidad para las comunidades médica y terapéutica el desarrollo de dispositivos que puedan mejorar o recuperar la función de caminar. Más allá de la discapacidad para caminar, existen varias dolencias médicas que interfieren con el control muscular de las extremidades, lo que deriva en la pérdida de función y en otras condiciones adversas para la persona afectada. El desarrollo de dispositivos para mejorar o recuperar estas funciones también es de gran interés para las comunidades médica y terapéutica.

En el campo médico se están desarrollando dispositivos de exoesqueleto humano para recuperar y rehabilitar la función muscular adecuada en personas con trastornos que afectan al control muscular. Estos dispositivos de exoesqueleto son un sistema de aparatos ortopédicos motorizados que pueden aplicar fuerzas en las extremidades del usuario. En un contexto de rehabilitación, los exoesqueletos suelen estar controlados por un fisioterapeuta que utiliza uno de una pluralidad de posibles medios de entrada de datos para dirigir un sistema de control del exoesqueleto. A su vez, el sistema de control del exoesqueleto acciona la posición de los aparatos ortopédicos motorizados, lo que deriva en la aplicación de fuerza en el cuerpo del usuario del exoesqueleto y, normalmente, en su movimiento. En algunos casos, el exoesqueleto también puede controlarse de manera similar si el usuario del exoesqueleto realiza la entrada de datos o mediante una combinación de entrada de datos por parte del usuario y del fisioterapeuta en el sistema de control del exoesqueleto.

Los sistemas de control del exoesqueleto prescriben y controlan las trayectorias en las articulaciones de un exoesqueleto. Estas trayectorias se pueden prescribir como basadas en la posición, basadas en la fuerza, o una combinación de ambas metodologías, como lo que se ve en un controlador de impedancia. Los sistemas de control basados en la posición se pueden modificar directamente mediante la modificación de las posiciones prescritas. Los sistemas de control basados en la fuerza también se pueden modificar directamente mediante la modificación de los perfiles de fuerza prescritos.

Durante una sesión de rehabilitación y/o durante el transcurso de la rehabilitación, es muy beneficioso que el fisioterapeuta tenga la capacidad de modificar las posiciones prescritas y/o los perfiles de fuerza prescritos dependiendo de la fisiología específica o la fase de rehabilitación de un paciente. Es muy complejo y difícil construir una interfaz de control del exoesqueleto que permita la gama completa de modificaciones deseadas por un fisioterapeuta durante la rehabilitación. De manera adicional, es importante que la interfaz de control no solo permita la gama completa de modificaciones que pueda desear un fisioterapeuta, sino que también la interfaz con el fisioterapeuta sea intuitiva para el fisioterapeuta, que puede no estar muy familiarizado con la tecnología. En algunas situaciones, es igualmente beneficioso para el usuario del exoesqueleto poder modificar las trayectorias del exoesqueleto.

Los sistemas de control de exoesqueleto reciben comandos de intención de un operario del exoesqueleto, que puede ser un fisioterapeuta o el usuario del exoesqueleto, y luego realiza las acciones deseadas en consecuencia. Para ejecutar correctamente estas acciones, se colocan una serie de sensores por todo el exoesqueleto para detectar el estado del exoesqueleto. Hay una pluralidad de posibles medios a través de los cuales el operario de un exoesqueleto, que puede ser un fisioterapeuta o el usuario del exoesqueleto, puede introducir los comandos en el sistema de control del exoesqueleto. Sin embargo, para maximizar el beneficio rehabilitador del exoesqueleto, sería de gran utilidad para el operario del exoesqueleto recibir información adicional del sistema de control del exoesqueleto, que podría transmitir información sobre las entradas de fuerza relativas del exoesqueleto y el usuario, la desviación de ciclos de trayectoria anteriores, el equilibrio del exoesqueleto, la orientación o información de posicionamiento futuro, o cualquiera de una multitud de otros parámetros.

Si bien la técnica anterior incluye referencias a dispositivos destinados a indicar rangos de movimiento seguros o movimientos deseados para ortesis pasivas, estos indicadores generalmente se limitan a recordarle a la persona información (normalmente, el ángulo articular) que ya posee. Así mismo, en estos casos, la información se proporciona

de forma intermitente cuando el dispositivo determina que la interferencia está justificada. La técnica no ha reconocido la necesidad de disponer de las maneras en las que un exoesqueleto u ortesis motorizada necesita comunicar sus intenciones y movimientos a la persona. Los ejemplos conocidos en la técnica de los exoesqueletos se limitan a indicadores de estado diferentes, equivalentes a los indicadores del salpicadero de un automóvil; esta invención se refiere a la retroalimentación continua que permite a la persona entender y participar en el movimiento del dispositivo, que se parece más a la retroalimentación de fuerza proporcionada a través del volante en los automóviles modernos. El conductor puede sentir una parte de la fuerza que el automóvil aplica en la dirección, de modo que percibe las fuerzas que actúan sobre el automóvil.

Existe una necesidad no satisfecha de proporcionar un dispositivo y un método que permitan que un exoesqueleto comunique información desde un sistema de control del exoesqueleto a un operario del exoesqueleto, que puede ser un fisioterapeuta o el usuario del exoesqueleto, de tal manera que el operario del exoesqueleto pueda interpretar intuitivamente la información comunicada por el exoesqueleto y utilizar esta información para mejorar el beneficio de rehabilitación u otros usos del exoesqueleto. El documento WO 2012/044621 divulga un dispositivo de ayuda al movimiento. El documento EP 2189136 divulga un sistema de ayuda a la acción, un dispositivo de ayuda a la acción del tipo que se puede llevar puesto y un método de ayuda a la acción. El documento US 2007/155588 se refiere a la monitorización a distancia de un paciente. El documento US 2006/200057 divulga ortesis o dispositivos protésicos con dosímetros y sensores de fuerza regulables.

## Sumario de la invención

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un dispositivo de exoesqueleto como el reivindicado en la reivindicación 1. De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método para operar un dispositivo de exoesqueleto como el reivindicado en la reivindicación 7.

Un objeto de la presente invención es proporcionar un dispositivo y un método novedosos que permitan que un sistema de control del exoesqueleto comunique información a un fisioterapeuta en un formato intuitivo, lo que permite que el fisioterapeuta utilice la información comunicada por el sistema de control del exoesqueleto para maximizar el beneficio terapéutico del exoesqueleto para el paciente, incluyendo pero no limitándose a permitirle al fisioterapeuta modificar mejor las trayectorias prescritas del exoesqueleto en tiempo real o para ciclos de trayectoria futuros, o evaluar la progresión del estado de rehabilitación del paciente.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un dispositivo y un método novedosos que permitan que un sistema de control del exoesqueleto comunique información a un usuario del exoesqueleto en un formato intuitivo, permitiendo que el usuario del exoesqueleto utilice la información comunicada por el exoesqueleto como "retroalimentación" directa o indirecta, lo que permite mejorar la información sobre los datos del exoesqueleto, como dónde se está produciendo el trabajo del exoesqueleto, dónde cambian las posiciones del exoesqueleto y para la predicción de fallos/alarmas de advertencia.

Un objeto adicional de la presente invención es proporcionar un dispositivo y un método novedosos que permitan que un sistema de control del exoesqueleto comunique información a un usuario del exoesqueleto o a un fisioterapeuta en un formato intuitivo, lo que permite que el exoesqueleto comunique información de orientación del exoesqueleto, como la posición del siguiente paso, el centrado del equilibrio o la dirección de desplazamiento prevista.

La invención divulgada en el presente documento comprende métodos novedosos para comunicar información desde un sistema de control del exoesqueleto a un fisioterapeuta y/o un usuario del exoesqueleto a través de un sistema de retroalimentación del exoesqueleto. Estos sistemas de retroalimentación e interfaz de comunicación exoesqueleto-operario se basan en la tecnología actual de exoesqueletos para permitir que un sistema de exoesqueleto no solo recupere o mejore el movimiento humano, sino que también recupere o mejore los sentidos humanos. En general, el término "sistema de retroalimentación" se utiliza para diferenciar del conjunto más amplio de tecnologías de visualización: aquí, "sistema de retroalimentación" se utiliza para hacer referencia a un dispositivo que proporciona información no textual; "representación textual" se utiliza para hacer referencia a un dispositivo que proporciona información textual. Se divulgan diez realizaciones diferentes de sistemas de retroalimentación, así como los tipos de información que el controlador del exoesqueleto puede comunicar a la persona con estos dispositivos de retroalimentación. En las diez realizaciones, un dispositivo de exoesqueleto comprende una articulación de exoesqueleto y una luz en las proximidades de la articulación del exoesqueleto que indica el nivel de asistencia proporcionado por la articulación del exoesqueleto o el par aplicado por la articulación del exoesqueleto.

La realización principal de esta invención comprende un dispositivo de exoesqueleto equipado con uno o más diodos emisores de luz u otros medios de iluminación muy próximos a las articulaciones del exoesqueleto. Los medios de iluminación están conectados al sistema de control del exoesqueleto y se iluminan proporcionalmente al par en la articulación del exoesqueleto. Los medios de iluminación podrían iluminarse alternativamente de forma proporcional al nivel de asistencia proporcionado por el dispositivo de exoesqueleto. Esto proporcionaría al fisioterapeuta o al usuario del exoesqueleto un sistema de retroalimentación visual colocado intuitivamente que comunica la interacción humano-máquina más allá del movimiento resultante que puede ver directamente el fisioterapeuta o el usuario del exoesqueleto.

En una realización secundaria, el sistema de retroalimentación visual comprende además un sistema de exoesqueleto que incluye uno o más diodos emisores de luz u otros medios de iluminación muy próximos a los puntos de conexión del usuario del exoesqueleto. Los puntos de conexión del usuario del exoesqueleto contienen sensores de fuerza, que están conectados al sistema de control del exoesqueleto, que determinan las fuerzas ejercidas entre el usuario del exoesqueleto y el exoesqueleto en los puntos de conexión del usuario del exoesqueleto. Los medios de iluminación están conectados al sistema de control del exoesqueleto y se iluminan proporcionalmente, mediante la modulación de la intensidad y/o color, respecto a las fuerzas en los puntos de conexión como sensores de fuerza determinados en los puntos de conexión del usuario del exoesqueleto. De manera similar a la primera realización, esto permitiría al fisioterapeuta o al usuario del exoesqueleto entender la ubicación de las fuerzas transferidas entre el exoesqueleto y el usuario del exoesqueleto.

En una tercera realización, el sistema de retroalimentación visual comprende además un sistema de exoesqueleto que incluye un puntero láser integral. El puntero láser está conectado a la estructura del exoesqueleto a través de medios accionados para controlar el cabeceo y la inclinación del ángulo de proyección del haz. Los medios de accionamiento del ángulo de proyección de cabeceo e inclinación están conectados al sistema de control del exoesqueleto y están controlados de manera que el puntero láser se dirija hacia una ubicación relevante para el usuario del exoesqueleto, como los objetivos ideales de colocación de unas muletas, los objetivos ideales de colocación de los pies y el siguiente objetivo de movimiento. Esto permitiría entrenar intuitivamente al usuario del exoesqueleto en la operación del exoesqueleto, así como permitirle al usuario del exoesqueleto juzgar con mayor precisión a dónde lo llevarán los movimientos del exoesqueleto. Cabe señalar que un solo puntero láser podría diseñarse para superponer una pluralidad de imágenes simultáneas en el suelo barriendo los contornos que haya en el suelo de forma reiterada, o alternativamente, se podrían utilizar varios punteros láser, posiblemente de varios colores, para proyectar diferentes imágenes.

En una cuarta realización, el sistema de retroalimentación visual comprende, además, una pluralidad de medios de iluminación integrales, proyectando los medios de iluminación una o más imágenes/objetivos con una pluralidad de medios de iluminación de colores que se suman a la luz blanca, así como las gafas que se pone el usuario del exoesqueleto con un filtro óptico que elimina uno de los colores proyectados, lo que hace que la imagen/objetivo sea una luz de color visible para el usuario del exoesqueleto y, al mismo tiempo, hace que la imagen/objetivo sea una luz blanca sutil para las personas que no usen las gafas con filtros ópticos. Los medios de iluminación están conectados a la estructura del exoesqueleto a través de medios accionados para controlar el cabeceo e inclinación de la proyección de los medios de iluminación. Los medios de accionamiento del ángulo de proyección de cabeceo e inclinación están conectados al sistema de control del exoesqueleto y están controlados de manera que el puntero láser se dirija hacia una ubicación relevante para el usuario, como los objetivos ideales de colocación de unas muletas, los objetivos ideales de colocación de los pies y el siguiente objetivo de movimiento. Esta realización tiene la gran ventaja de permitir que los objetivos de colocación se utilicen en público sin que los transeúntes se den cuenta.

En una quinta realización, el sistema de retroalimentación visual comprende además unas gafas que utiliza el usuario del exoesqueleto con un sistema de visualización integrado y un sistema de cámara, mostrando las gafas los objetivos de colocación que hacen que el usuario del exoesqueleto experimente una "visualización con la cabeza erguida". Las gafas y las cámaras están en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto, y el sistema de control del exoesqueleto determina la posición del exoesqueleto a través de la pluralidad de sensores integrados en el sistema del exoesqueleto que determinan la postura del exoesqueleto, mientras que la posición de las gafas con respecto al sistema de exoesqueleto se determina comparando los sensores inerciales montados dentro del sistema de exoesqueleto y los sensores inerciales montados dentro de las gafas con pantallas integradas. En esta realización, las gafas constituyen un sistema de retroalimentación en el sentido de que muestra información no textual, en este caso, geometrías superpuestas sobre el terreno.

Una sexta realización de esta invención comprende también un método y un dispositivo montado sobre un exoesqueleto o el usuario del exoesqueleto que transmite información desde el sistema de control del exoesqueleto al usuario del exoesqueleto, que proporciona retroalimentación sobre el centro de presión del dispositivo de exoesqueleto y del usuario. Una persona utiliza el conocimiento del centro de presión para sentir cuándo está en equilibrio sobre sus pies. No obstante, para usuarios sin sensibilidad a la presión en los pies, esta información debe presentarse en otros métodos. Son posibles múltiples métodos de retroalimentación para el centro de presión. Un método preferido es utilizar la retroalimentación táctil en un área donde el usuario pueda sentir y procesar esa información. Una realización de la retroalimentación del centro de presión comprende una rueda que está unida al exoesqueleto o a otra estructura utilizada por el usuario del exoesqueleto. La rueda se mueve en un plano paralelo al cuerpo del usuario del exoesqueleto para indicar el movimiento del centro de presión. La rueda también se puede accionar para moverse hacia adentro y hacia afuera proporcionando un nivel variable de presión. Esta presión puede indicar la velocidad del centro de presión, la desviación de la ideal, o la diferencia entre el centro de presión y el centro de masa. En algunas realizaciones, muchas de estas ruedas están en contacto con el usuario, de modo que se pueden mostrar muchos valores diferentes. En algunas realizaciones, la rueda comprende una bola y el exoesqueleto la impulsa para moverse en dos dimensiones (X-Y) y para empujar con un nivel variable de fuerza, produciendo una representación tridimensional capaz de mostrar información como, aunque sin limitación, un mapeo del centro de presión del usuario del exoesqueleto en el eje delantero y lateral, así como la fuerza vertical del usuario del

exoesqueleto.

En una séptima realización, el sistema de retroalimentación táctil del centro de presión comprende motores vibratorios u otros motores táctiles que se colocan en el cuerpo del usuario del exoesqueleto. Los motores están en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto y aplican retroalimentación al usuario del exoesqueleto al transmitir una sensación de empuje o un barrido en la dirección en la que debe moverse el usuario del exoesqueleto. La amplitud de la vibración puede indicar información, como la velocidad deseada o el grado de movimiento necesario. La retroalimentación vibratoria podría darse en el tronco, los brazos, el cuello o la cabeza, según sea conveniente para la retroalimentación y el nivel de lesión/discapacidad del usuario del exoesqueleto. Estos métodos pueden combinarse. Una realización incluye los actuadores táctiles en los brazos del usuario del exoesqueleto que se activan para imitar un empuje hacia la izquierda o hacia la derecha, como lo haría un fisioterapeuta durante el entrenamiento para caminar. De igual modo, en otra realización, los actuadores en el pecho y la espalda (o delante y detrás de los hombros) del usuario del exoesqueleto imitan un empuje hacia delante o hacia atrás, como lo haría un fisioterapeuta. En algunas realizaciones, se pueden usar conjuntos de motores de vibración para producir señales relativas a través del cuerpo del usuario del exoesqueleto.

En una octava realización, el sistema de retroalimentación del centro de presión comprende una malla de temperatura conectada al usuario del exoesqueleto que está en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto. La malla de temperatura transmite información al usuario del exoesqueleto mediante la inducción de sensaciones de temperatura. Una realización comprende una malla térmica sobre la lengua del usuario del exoesqueleto. En esta realización, la superficie de la lengua del usuario del exoesqueleto se asigna a la base de los pies del usuario del exoesqueleto. A continuación, el centro de presión del usuario del exoesqueleto y del dispositivo de exoesqueleto se indica calentando un nodo en la misma posición de la malla que el centro de presión sobre el pie. El grado de temperatura representa la fuerza en el pie.

En una novena realización, el centro del sistema de retroalimentación de presión está compuesto por un dispositivo auditivo montado sobre el exoesqueleto o el usuario del exoesqueleto, que transmite información desde el sistema de control del exoesqueleto al usuario del exoesqueleto a través de sonidos. El dispositivo auditivo comprende un conjunto de altavoces, y el dispositivo indica al usuario del exoesqueleto la dirección y magnitud de desviación del centro de presión. A medida que el usuario del exoesqueleto se desplazara hacia la izquierda, los altavoces generarían un sonido cada vez más fuerte a la izquierda del usuario del exoesqueleto. En una realización, el conjunto de altavoces puede comprender simplemente dos altavoces que se utilizan para, de esta manera, proporcionar información de lado a lado o de adelante hacia atrás. En otra realización, la adición de más altavoces al conjunto de altavoces da como resultado la capacidad de transmitir una información de posición más precisa desde el sistema de control del exoesqueleto al usuario del exoesqueleto. En otra realización, podrían utilizarse uno o más altavoces con una variedad de tonos para indicar al usuario del exoesqueleto en la dirección y magnitud de desviación del centro de presión. En otra realización adicional, uno o más de los altavoces se utilizan para variar continuamente la frecuencia en función de la posición lateral, para así transmitir la información del centro de presión al usuario del exoesqueleto.

Una décima realización que no forma parte de esta invención comprende, además, un dispositivo unido a un recurso de ayuda para caminar, unido al usuario del exoesqueleto, que transmite información desde el sistema de control del exoesqueleto al usuario del exoesqueleto que proporciona retroalimentación y orientación al usuario del exoesqueleto con respecto a el uso de la ayuda para caminar. En una realización, el recurso de ayuda para caminar comprende una muleta sostenida en cada mano del usuario del exoesqueleto. Las empuñaduras de las muletas están equipadas con un motor vibratorio que controla el sistema de control del exoesqueleto. Durante el proceso de caminar, a medida que el usuario del exoesqueleto va cambiando su peso, la empuñadura de la muleta proporciona retroalimentación vibratoria sobre dónde y en qué medida el usuario del exoesqueleto debe cambiar de peso. Este dispositivo es útil para garantizar que el usuario del exoesqueleto esté equilibrado sobre sus pies en lugar de depender demasiado del recurso de ayuda para caminar para mantener el equilibrio. Estos métodos de retroalimentación utilizados para proporcionar al usuario del exoesqueleto información sobre el centro de presión también se pueden utilizar para proporcionar al usuario del exoesqueleto información sobre su posicionamiento general, como la ubicación de su cadera sobre el pie de apoyo o su inclinación hacia adelante y hacia los lados. Estos mecanismos de retroalimentación podrían indicar la necesidad de desplazarse hacia adelante/atrás o hacia la izquierda/derecha según sea necesario para lograr la orientación deseada. En otra realización, el mecanismo de retroalimentación en la empuñadura de la muleta es un mecanismo háptico electrostático o cualquier otro mecanismo de retroalimentación háptica.

Cada sistema de retroalimentación del exoesqueleto comprende un algoritmo que convierte los datos de un sistema de control del exoesqueleto en un formato "listo para retroalimentación" adecuado para la comunicación con un operario del exoesqueleto, que podría ser un fisioterapeuta o el usuario del exoesqueleto, así como un método para comunicar de forma continua estos datos del exoesqueleto de "retroalimentación lista" a un operario del exoesqueleto. Se han desarrollado algoritmos de conversión de "retroalimentación lista" que permiten la comunicación de la información del sensor del exoesqueleto, la comunicación de la información del estado del exoesqueleto, la comunicación de las acciones del exoesqueleto en dicho momento, la comunicación de las acciones planificadas del exoesqueleto, la comunicación de retroalimentación/entrenamiento de la ejecución y la comunicación de cambios en el modo de control del exoesqueleto. Los métodos de comunicación de un exoesqueleto a un operario del exoesqueleto se han desarrollado utilizando vías sensoriales humanas basadas en lo visual, háptico, auditivo y térmico.

5 Varias realizaciones se desarrollaron para convertir los datos del exoesqueleto en un formato "listo para la retroalimentación" adecuado para la comunicación con un operario del exoesqueleto. Estos conceptos se evaluaron en función de la utilidad de la información comunicada al operario del exoesqueleto. El primer conjunto de algoritmos de "retroalimentación lista" utiliza información directamente de los diversos sensores integrales de un exoesqueleto que recopilan datos sobre el estado del exoesqueleto, incluidos, entre otros, los ángulos articulares y los pares articulares.

10 Los algoritmos que calculan el par articular de dicho momento del exoesqueleto en relación con el par articular máximo disponible del exoesqueleto se han identificado como importantes activadores novedosos de "retroalimentación lista" para comunicarse con un operario del exoesqueleto. Estos algoritmos y los sensores requeridos son muy evidentes para un experto en la materia del diseño de exoesqueletos. Cuando la información del par articular se comunica a un usuario del exoesqueleto, un usuario del exoesqueleto recibe una sensación, que es el resultado de la sensación de tensión muscular en un humano. Esta información permite al usuario entender mejor los límites de un exoesqueleto de la misma manera que una persona entiende los límites de su propio cuerpo. Esta comprensión le da al usuario del exoesqueleto una mayor confianza cuando empuja un dispositivo de exoesqueleto cerca de los límites de par y la capacidad de entender dónde están los límites.

20 También se han desarrollado conceptos que son variaciones de los algoritmos del par articular. Uno de estos otros activadores novedosos de "retroalimentación lista" es el par articular esperado menos el par articular real proporcionado. El par articular esperado se puede calcular aproximadamente en función del peso del usuario del exoesqueleto y de la postura del dispositivo de exoesqueleto; los métodos para realizar este cálculo son muy evidentes para una persona experta en la materia del diseño de exoesqueletos. Cuando se comunica al usuario del exoesqueleto, esta información de par esperada menos la real proporciona al usuario del exoesqueleto la capacidad de detectar inmediatamente los obstáculos que impiden el movimiento del exoesqueleto. Principalmente, se puede detectar un objeto en el que esté atrapado el exoesqueleto y permitir que el usuario del exoesqueleto cambie de rumbo, en lugar de acumular par hasta que el exoesqueleto se libere, lo que podría provocar daños en el exoesqueleto o lesiones en el usuario del exoesqueleto.

30 Otro activador novedoso "listo para la retroalimentación" relacionado con el par articular son las fuerzas de interacción entre el exoesqueleto y el operario del exoesqueleto. Esta fuerza se puede medir utilizando galgas extensométricas o sensores de presión comunes en los puntos de interfaz entre el exoesqueleto y el ser humano. La comunicación de esta información al operario del exoesqueleto permite ventajas similares a las de comunicar directamente el par articular.

35 Otro activador novedoso "listo para la retroalimentación" relacionado con el par articular es el nivel de asistencia proporcionado por el dispositivo cuando se utiliza un dispositivo en un entrenamiento de rehabilitación. El cálculo del nivel de asistencia es una función de las fuerzas de interacción entre el exoesqueleto y el usuario del exoesqueleto y es muy evidente para una persona experta en la materia del diseño de exoesqueletos. Este nivel de asistencia permite que un fisioterapeuta o un paciente en rehabilitación entiendan cuánto trabajo está haciendo la máquina y cuánto trabajo está haciendo el paciente. Esto les da al fisioterapeuta y al paciente el objetivo de minimizar el nivel de asistencia para maximizar el beneficio de rehabilitación. Esto es especialmente aplicable en el entrenamiento de rehabilitación para caminar para trastornos musculares en los que el objetivo es mejorar la función cuando el paciente no está usando el exoesqueleto; en este contexto, este activador le da al usuario del exoesqueleto retroalimentación directa sobre cuánto está modificando el exoesqueleto sus movimientos y, por lo tanto, una idea de cómo serían sus movimientos sin la ayuda de un exoesqueleto.

50 Si esta información basada en el par articular se comunica a un fisioterapeuta usando un dispositivo de exoesqueleto en un contexto de rehabilitación, esta hará que el fisioterapeuta entienda mejor el efecto del exoesqueleto en el paciente. Esta comprensión permitirá que el fisioterapeuta tome mejores decisiones sobre la progresión de un paciente y la configuración del dispositivo de exoesqueleto requerida para obtener el máximo beneficio de rehabilitación.

55 Otra clase de activadores de "retroalimentación lista" se basan en el exoesqueleto y en la información de la postura del usuario del exoesqueleto, como la ubicación del centro de presión, la ubicación del centro de gravedad y las posiciones relativas de los segmentos del exoesqueleto. Cuando se utiliza con pacientes con deficiencia sensorial, tal como con pacientes con lesión de la médula espinal, estos activadores intentan reemplazar el sentido cinestésico o somatosensorial del usuario del exoesqueleto para recuperar la propiocepción adecuada. Estas realizaciones incluyen las posiciones de las articulaciones entre sí, lo que puede permitir al usuario del exoesqueleto entender con mayor precisión su posición en el espacio.

60 En un exoesqueleto, el centro de presión se puede calcular utilizando sensores de fuerza o presión ubicados debajo de los pies del usuario del exoesqueleto o del dispositivo de exoesqueleto (en el caso de un exoesqueleto con pies). El centro de masa se puede calcular utilizando sensores de ángulo articular, el exoesqueleto y los pesos de los segmentos del usuario del exoesqueleto. Para mejorar la precisión de estos cálculos, los ángulos articulares deben corregirse en función de la flexión de la estructura del exoesqueleto utilizando galgas extensométricas integradas dentro de la estructura del exoesqueleto. Las posiciones relativas de los segmentos del exoesqueleto también se

pueden calcular utilizando ángulos articulares, longitudes de segmento y correcciones de flexión.

Un nuevo activador "listo para retroalimentación" en el centro de la clase de presión es la posición relativa del centro de presión y el centro de masa del exoesqueleto y el sistema del usuario del exoesqueleto. Este activador de "retroalimentación lista" se refiere a una dirección en la que está cayendo el sistema y también se puede utilizar para indicar la velocidad de la caída por la distancia entre el centro de presión y el centro de masa. Esto permite al usuario del exoesqueleto sentir directamente su estabilidad dinámica que, en un individuo sin discapacidad, se comunica a través de una combinación de su sentido somatosensorial en los pies y su sentido cinestésico en la parte inferior del cuerpo.

Otro activador novedoso "listo para la retroalimentación" útil con los exoesqueletos para la parte inferior del cuerpo es la altura de cada pie desde el suelo. Este activador actúa para recuperar el sentido cinestésico del usuario del exoesqueleto. Esta retroalimentación puede detectarse de diversas formas que son evidentes para los expertos en la materia. Una realización utiliza sensores de proximidad, como emisores y receptores de sonar, para calcular la distancia al suelo junto con sensores de presión para determinar el contacto. Las realizaciones alternativas pueden incluir cámaras o mediciones de distancia con láser.

Otro activador novedoso "listo para la retroalimentación" útil con los exoesqueletos para la parte inferior del cuerpo es la distancia desde la parte delantera de cada pie hasta el obstáculo más cercano. Este activador permite que el usuario de un exoesqueleto detecte si es seguro continuar con una acción determinada. La información que se devuelve al usuario del exoesqueleto puede incluir la distancia al obstáculo o simplemente la presencia de un obstáculo en un rango determinado del camino.

Otro activador novedoso "listo para la retroalimentación" útil con los exoesqueletos para la parte inferior del cuerpo son las posiciones predichas del efector final de una acción seleccionada. Este activador no solo le proporciona al usuario del exoesqueleto información sobre una acción que está a punto de realizarse, sino también un objetivo de entrenamiento al que dirigirse para completar la acción. En una realización de este método, una representación visual, ya sea mediante un punto proyectado o una visualización con la cabeza erguida, informa al usuario del exoesqueleto de la posición final de su pie después de que se realice la acción. En una realización alternativa, la representación visual puede indicar dónde poner una muleta u otro recurso de ayuda para caminar a fin de prepararse para dar un paso.

Otra clase de activadores de "retroalimentación lista" comunican los parámetros del sistema de control, incluidas las acciones de dicho momento, las acciones planificadas y los cambios de control del usuario del exoesqueleto. Estos activadores hacen que el usuario del exoesqueleto entienda mejor el estado del sistema de control del exoesqueleto para que el usuario del exoesqueleto siempre esté al tanto de las acciones del exoesqueleto antes de que se lleven a cabo. Estos activadores deben comunicarse de manera no obstaculizante. Esta comunicación de cambios de parámetros o acciones también brinda al usuario del exoesqueleto la oportunidad de confirmar o reconocer los cambios si es necesario.

Se conceptualizaron activadores adicionales de "retroalimentación lista", incluidos los vectores de fuerza de las manos al recurso de ayuda para caminar, las fuerzas del recurso de ayuda para caminar al suelo, el ángulo del tronco hacia adelante y hacia atrás, el ángulo del tronco de lado a lado, los ángulos articulares, el rumbo de la brújula, las solicitudes de cambio de modo, las confirmaciones de cambio de modo, la iniciación de la acción, la finalización de la acción, las alertas de posiciones inestables y las condicionales basadas en funciones de activadores individuales.

También se desarrollaron varios sistemas de retroalimentación novedosos utilizando los activadores de retroalimentación descritos anteriormente junto con medios novedosos para proporcionar retroalimentación a las vías sensoriales visuales, hápticas, auditivas y térmicas del usuario del exoesqueleto. La siguiente es una descripción de estas realizaciones específicas de la presente invención, incluidos los sensores constituyentes necesarios, controles e interfaces de salida como componentes de estos dispositivos en relación con el control del exoesqueleto.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista lateral esquemática de una persona discapacitada con un exoesqueleto dinámico acoplado.

La figura 2 es un dibujo que representa una primera realización que muestra un exoesqueleto dinámico con luces integrales en las articulaciones, así como un fisioterapeuta y un usuario del exoesqueleto que reciben retroalimentación visual de las luces integrales de las articulaciones.

La figura 3 es un dibujo que representa una segunda realización que muestra un exoesqueleto dinámico con luces integrales de puntos de interfaz exoesqueleto-usuario, así como un fisioterapeuta y un usuario de exoesqueleto que reciben retroalimentación visual de las luces integrales de puntos de interfaz exoesqueleto-usuario.

La figura 4 es un dibujo que representa una tercera realización que muestra un exoesqueleto dinámico con un puntero láser integrado con control de cabeceo/inclinación, así como un fisioterapeuta y un usuario del exoesqueleto que

reciben retroalimentación visual del puntero láser, que incluye específicamente información sobre la colocación de las muletas.

5 La figura 5 es un dibujo que representa una cuarta realización que muestra un exoesqueleto dinámico con luces proyectadas integrales que generan objetivos de colocación que solo puede ver perfectamente el usuario del exoesqueleto, que también lleva gafas especiales con filtro óptico.

10 La figura 6 es un dibujo que representa una quinta realización que muestra un exoesqueleto dinámico y un usuario del exoesqueleto con gafas de visualización que contienen una cámara integral. Las gafas muestran los objetivos de colocación y otra información para el usuario del exoesqueleto.

La figura 7 es un dibujo que representa una sexta realización que muestra un exoesqueleto dinámico con un dispositivo de rueda que transmite el centro de retroalimentación de presión al usuario del exoesqueleto.

15 La figura 8 es un dibujo que representa una séptima realización que muestra un exoesqueleto dinámico y un usuario del exoesqueleto, con un medio de retroalimentación de cinturón vibratorio unido al dispositivo de exoesqueleto o al usuario del exoesqueleto, proporcionando el cinturón retroalimentación del centro de presión/equilibrio al usuario del exoesqueleto.

20 La figura 9 es un dibujo que representa una novena realización que muestra un exoesqueleto dinámico y un usuario del exoesqueleto, con un medio de retroalimentación auditiva unido al dispositivo de exoesqueleto o al usuario del exoesqueleto, proporcionando el medio de retroalimentación auditiva la retroalimentación del centro de presión/equilibrio al usuario del exoesqueleto.

25 La figura 10 es un dibujo que representa una décima realización que muestra un exoesqueleto dinámico y un usuario del exoesqueleto, con un medio de retroalimentación integrado en la muleta sostenida por el usuario del exoesqueleto que proporciona retroalimentación al usuario del exoesqueleto.

30 La figura 11 es un dibujo de un exoesqueleto dinámico con ubicaciones específicas que se puede utilizar en cualquier realización o combinación de realizaciones para la colocación adicional de dispositivos incluidos en cualquier realización, que incluyen, aunque sin limitación, medios de iluminación, sensores o punteros láser.

35 La figura 12 es un esquema de circuito de control que muestra un controlador de exoesqueleto basado en la información de retroalimentación hacia y desde la persona que lleva puesto un dispositivo de exoesqueleto.

#### Descripción detallada de la invención

40 Un exoesqueleto motorizado es un ejemplo de una ortesis motorizada que dota al usuario del movimiento de caminar. En un contexto de rehabilitación, los exoesqueletos motorizados son controlados por un fisioterapeuta que utiliza uno de una pluralidad de posibles medios de entrada de datos para dirigir un sistema de control del exoesqueleto. A su vez, el sistema de control del exoesqueleto acciona la posición de los aparatos ortopédicos motorizados, lo que deriva en la aplicación de fuerza y, normalmente, en el movimiento del cuerpo del usuario del exoesqueleto.

45 Haciendo referencia a la figura 1, un paciente o usuario 109 utiliza para caminar un exoesqueleto 100, que tiene una parte de tronco 110 y soportes para la parte inferior de las piernas 112, en combinación con una muleta 102, que incluye una punta inferior de contacto con el suelo 101 y una empuñadura 103. Se muestra que el usuario 109 tiene un brazo superior 111, un brazo inferior (antebrazo) 122, una cabeza 123 y extremidades inferiores 124. De una manera ya conocida en la técnica, la parte de tronco 110 se puede configurar para acoplarse a la parte superior del cuerpo (no etiquetada por separado con otro número) del usuario 109, los soportes para piernas 112 se pueden configurar para acoplarse a las extremidades inferiores 124 del usuario 109, los soportes para pies 161 se pueden configurar para acoplarse a los pies del usuario 109 y conectarse a la articulación del tobillo 160, y los actuadores, que están indicados genéricamente con el 125 pero realmente están interpuestos entre partes de los soportes para piernas 112, así como entre los soportes para piernas 112 y la parte de tronco 110 de una manera ampliamente conocida en la técnica, para así desplazar los soportes para piernas 112 con respecto a la parte de tronco 110 y permitir el movimiento de las extremidades inferiores 124 del usuario 109. En algunas realizaciones, la parte de tronco 110 puede ser bastante pequeña y comprender una conexión pélvica que envuelve la pelvis del usuario 109. En el ejemplo mostrado en la figura 1, los actuadores del exoesqueleto 125 se muestran específicamente como un actuador de cadera 135, que se utiliza para mover la articulación de la cadera 145 en flexión y extensión, y como un actuador de rodilla 140, que se utiliza para mover la articulación de rodilla 150 en flexión y extensión. Los actuadores del exoesqueleto 125 están controlados por la CPU 120, siendo la CPU 120 un componente de un sistema de control del exoesqueleto en una pluralidad de formas conocidas por una persona experta en la materia del control de exoesqueletos. Aunque no se muestra en la figura 1, se proporcionan varios sensores en comunicación con la CPU 120 para que la CPU 120 pueda monitorizar la orientación del dispositivo. Dichos sensores pueden incluir, sin restricción, codificadores, potenciómetros, acelerómetros y giroscopios. Que la estructura particular del exoesqueleto pueda adoptar varias formas ya se conoce en la técnica y no forma parte de la presente invención, por lo que no se detallará más en el presente documento.

Los sistemas de control del exoesqueleto prescriben y controlan las trayectorias en las articulaciones de un exoesqueleto. Estas trayectorias se pueden prescribir como basadas en la posición, basadas en la fuerza, o una combinación de ambas metodologías, como lo que se ve en un controlador de impedancia. Los sistemas de control basados en la posición se pueden modificar directamente mediante la modificación de las posiciones prescritas. Los sistemas de control basados en la fuerza también se pueden modificar directamente mediante la modificación de los perfiles de fuerza prescritos. Dado que los conceptos presentados aquí se aplican igualmente a la posición, fuerza y estrategias de control híbridas basadas en "impedancia", las posiciones y/o fuerzas prescritas por un sistema de control del exoesqueleto pueden denominarse en esta divulgación "trayectorias del exoesqueleto".

En todas las realizaciones de esta invención, un dispositivo de exoesqueleto comprende una articulación de exoesqueleto y una luz en las proximidades de la articulación del exoesqueleto que indica el nivel de asistencia proporcionado por la articulación del exoesqueleto o el par aplicado por la articulación del exoesqueleto. La realización principal de esta invención comprende un dispositivo de exoesqueleto equipado con uno o más diodos emisores de luz u otros medios de iluminación muy próximos a las articulaciones del exoesqueleto. Los medios de iluminación están conectados al sistema de control del exoesqueleto y se iluminan proporcionalmente al par en la articulación del exoesqueleto. Los medios de iluminación podrían iluminarse alternativamente de forma proporcional al nivel de asistencia proporcionado por el dispositivo de exoesqueleto. Esto proporcionaría al fisioterapeuta o al usuario del exoesqueleto un sistema de retroalimentación visual colocado intuitivamente que comunica la interacción humano-máquina más allá del movimiento resultante que puede ver directamente el fisioterapeuta o el usuario del exoesqueleto.

En algunas realizaciones, la intensidad de la luz podría variar dependiendo de la intensidad de la señal, midiéndose la intensidad de la señal con los sensores internos del exoesqueleto o los sensores de fuerza del usuario del exoesqueleto, y siendo interpretada esta intensidad de la señal por el sistema de control del exoesqueleto y transmitida a los medios de iluminación. En otra realización, la frecuencia de parpadeo de la luz cambiaría en relación con la intensidad de la señal. En otra realización, se podría utilizar un conjunto de luces, dependiendo del número y la posición de las luces iluminadas de la intensidad de la señal. En otra realización, el color de las luces podría modularse dependiendo de la intensidad de la señal. Son posibles otras realizaciones de retroalimentación de iluminación, como ya saben las personas expertas en la materia. Se podrían utilizar múltiples tipos de sensores para medir varios parámetros del usuario del exoesqueleto o del exoesqueleto, y se puede informar de cada uno de ellos a través de los diversos formatos de iluminación. Estos múltiples formatos y tipos de retroalimentación de parámetros podrían combinarse según se prefiriera.

Haciendo referencia a la figura 2, el paciente 201 lleva puesto el exoesqueleto 204, que está controlado por el sistema de control del exoesqueleto 205. El fisioterapeuta 202 está monitorizando el rendimiento del exoesqueleto 204 y del paciente 201 en un contexto de rehabilitación, tiempo durante el cual el fisioterapeuta 202 puede enviar comandos al sistema de control del exoesqueleto 205 a través de los medios de entrada de datos 203 del sistema de control. Aunque los medios de entrada de datos 203 se muestran aquí como un ordenador, este es simplemente un ejemplo ilustrativo. Como los dispositivos de entrada de datos no son un objeto particular de la presente invención, los medios de entrada de datos 203 podrían ser cualquier número de dispositivos, incluyendo, sin limitación, un teclado, comandos de voz, empuñaduras integradas en el exoesqueleto 204, etc. Las luces integrales de las articulaciones 206 se iluminan en respuesta a una señal del sistema de control del exoesqueleto 205, estando esta señal relacionada con los parámetros de estado del exoesqueleto 204, en este caso, el par articular del exoesqueleto en cada articulación del exoesqueleto, lo que hace que las luces integrales de las articulaciones 206 aumenten su intensidad de iluminación a medida que aumenta el par articular en cada ubicación, calculado por el sistema de control del exoesqueleto 205. Tanto el fisioterapeuta 202 como el usuario de exoesqueleto 201 ven la iluminación de las luces integrales de las articulaciones 206, lo que permite que el fisioterapeuta 202 y el usuario del exoesqueleto 201 entiendan mejor las fuerzas ejercidas en este estado del exoesqueleto.

En un ejemplo de la realización principal, si un fisioterapeuta quisiera modificar el ciclo de la función de caminar de un exoesqueleto dinámico en respuesta a la progresión de un paciente durante el transcurso de la terapia, es útil para el fisioterapeuta saber cuánta fuerza estaba aplicando el paciente en cada articulación respecto a las fuerzas ejercidas por el exoesqueleto durante un movimiento cíclico como caminar. A medida que el paciente progresa a lo largo del tratamiento, el paciente ejercerá más fuerza en cada articulación respecto al exoesqueleto. Sin embargo, el movimiento del exoesqueleto se verá igual. La adición de medios de iluminación integrales que proporcionan una iluminación proporcional a las fuerzas ejercidas por el exoesqueleto en cada articulación puede utilizarse como un medio indirecto de información sobre las fuerzas ejercidas por el paciente (ya que las fuerzas del paciente y del exoesqueleto se suman en un movimiento específico). En un ejemplo muy simplificado, el fisioterapeuta podría monitorizar la iluminación en la rodilla izquierda 207 para monitorizar cuánto par articular estaba ejerciendo el exoesqueleto en la rodilla izquierda y, así, obtener una idea de cuánta fuerza pudo ejercer el paciente en esta rodilla izquierda en varios puntos durante los ciclos de movimiento y el transcurso del tratamiento. Después, el fisioterapeuta podría utilizar esta información para modificar las trayectorias del exoesqueleto para mejorar el beneficio de rehabilitación del paciente.

En una segunda realización, el sistema de retroalimentación visual comprende además un sistema de exoesqueleto

que incluye uno o más diodos emisores de luz u otros medios de iluminación muy próximos a los puntos de conexión del usuario del exoesqueleto. Los puntos de conexión del usuario del exoesqueleto contienen sensores de fuerza, que están conectados al sistema de control del exoesqueleto, que determinan las fuerzas ejercidas entre el usuario del exoesqueleto y el exoesqueleto en los puntos de conexión del usuario del exoesqueleto. Los medios de iluminación están conectados al sistema de control del exoesqueleto y se iluminan proporcionalmente a través de la modulación de intensidad y color con respecto a las fuerzas en los puntos de conexión como sensores de fuerza determinados en los puntos de conexión del usuario del exoesqueleto. Igual que en la primera realización, esto permitiría al fisioterapeuta o al usuario del exoesqueleto entender la ubicación de las fuerzas transferidas entre el exoesqueleto y el usuario del exoesqueleto.

Haciendo referencia a la figura 3, el paciente 301 lleva puesto el exoesqueleto 304, que está controlado por el sistema de control del exoesqueleto 305. El fisioterapeuta 302 está monitorizando el rendimiento del exoesqueleto 304 y del paciente 301 en un contexto de rehabilitación, tiempo durante el cual el fisioterapeuta 302 puede enviar comandos al sistema de control del exoesqueleto 305 a través de los medios de entrada de datos 303 del sistema de control. Las luces integrales de puntos de interfaz 306 se iluminan en respuesta a una señal de los sensores de fuerza en la estructura del exoesqueleto, ubicados entre el exoesqueleto 304 y el paciente 301 en el sitio de cada luz integral de punto de interfaz 306, estando los sensores de fuerza en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto 305, indicando esta señal las fuerzas ejercidas entre el exoesqueleto 304 y el paciente 301, provocando que las luces integrales de puntos de interfaz 306 aumenten su intensidad de iluminación a medida que aumenta la fuerza en cada ubicación. Tanto el fisioterapeuta 302 como el usuario de exoesqueleto 301 ven la iluminación de las luces integrales de puntos de interfaz 306, lo que permite que el fisioterapeuta 302 y el usuario del exoesqueleto 301 entiendan mejor las fuerzas ejercidas por el usuario del exoesqueleto en este estado del exoesqueleto.

En un ejemplo de la segunda realización, si un fisioterapeuta quisiera modificar el ciclo de la función de caminar de un exoesqueleto dinámico en respuesta a la progresión de un paciente durante el transcurso de la terapia, es útil para el fisioterapeuta saber cuánta fuerza estaba aplicando el paciente en cada articulación respecto a las fuerzas ejercidas por el exoesqueleto durante un movimiento cíclico como caminar. A medida que el paciente progresa a lo largo del tratamiento, el paciente ejercerá más fuerza respecto al exoesqueleto durante varios movimientos. Sin embargo, el movimiento del exoesqueleto se verá igual. La adición de medios de iluminación integrales de puntos de interfaz que proporcionan iluminación proporcional a las fuerzas ejercidas por el paciente en uno o más puntos de interfaz exoesqueleto-paciente permite al fisioterapeuta, o al paciente, recibir información visual que muestre las fuerzas ejercidas entre el exoesqueleto y el paciente. En un ejemplo muy simplificado, el fisioterapeuta podría monitorizar la iluminación en el acoplamiento de la pierna izquierda 307 para monitorizar cuánto par de fuerza se estaba ejerciendo en el acoplamiento de pierna izquierda y, así, obtener una idea de cuánta fuerza pudo ejercer el paciente en este acoplamiento de pierna izquierda en varios puntos durante los ciclos de movimiento y el transcurso del tratamiento. Después, el fisioterapeuta podría utilizar esta información para modificar las trayectorias del exoesqueleto para mejorar el beneficio de rehabilitación del paciente.

Las dos primeras realizaciones tienen aplicaciones en contextos de rehabilitación. La novedosa retroalimentación visual proporciona al fisioterapeuta una retroalimentación colocada intuitivamente que describe las interacciones entre el exoesqueleto y el usuario, lo que le permite al fisioterapeuta mejorar la calidad de la terapia de rehabilitación. Esta retroalimentación se vuelve especialmente importante cuando el fisioterapeuta dispone del control del nivel de asistencia del dispositivo; esta retroalimentación permitirá al fisioterapeuta establecer el nivel de asistencia de manera mucho más inteligente. Una combinación de la primera realización y la segunda realización es especialmente útil para un fisioterapeuta a la hora de determinar cuánta fuerza relativa ejercen el usuario del exoesqueleto y el exoesqueleto en un movimiento específico, lo que permite la retroalimentación tanto del par articular del exoesqueleto como de la fuerza de la interfaz del usuario del exoesqueleto-exoesqueleto.

En una tercera realización, el sistema de retroalimentación visual comprende además un sistema de exoesqueleto que incluye un puntero láser integral. El puntero láser conectado a la estructura del exoesqueleto a través de medios accionados para controlar el cabeceo y la inclinación del ángulo de proyección del haz. Los medios de accionamiento del ángulo de proyección de cabeceo e inclinación están conectados al sistema de control del exoesqueleto y están controlados de manera que el puntero láser se dirija hacia una ubicación relevante para el usuario del exoesqueleto, como los objetivos ideales de colocación de unas muletas, los objetivos ideales de colocación de los pies y el siguiente objetivo de movimiento. Esto permitiría entrenar intuitivamente al usuario del exoesqueleto en la operación del exoesqueleto, así como permitirle al usuario del exoesqueleto juzgar con mayor precisión a dónde lo llevarán los movimientos del exoesqueleto. Cabe señalar que un solo puntero láser podría diseñarse para superponer una pluralidad de imágenes simultáneas en el suelo barriendo los contornos que haya en el suelo de forma reiterada, o alternativamente, se podrían utilizar varios punteros láser, posiblemente de varios colores, para proyectar diferentes imágenes. En otra realización, el barrido de varios punteros láser podría proyectar imágenes duplicadas en el mismo sitio, permitiendo que objetos como una muleta se interpongan en el camino de una proyección láser sin bloquear la colocación del objetivo en el suelo y sin interrumpir la utilidad que tiene para el paciente.

Haciendo referencia a la figura 4, el paciente 401 lleva puesto el exoesqueleto 404, que está controlado por el sistema de control del exoesqueleto 405. El fisioterapeuta 402 está monitorizando el rendimiento del exoesqueleto 404 y del paciente 401 en un contexto de rehabilitación. El puntero láser integral conectado a los medios articulados que

controlan el cabeceo y la inclinación 403 está montado en la estructura del exoesqueleto 404. El puntero láser integral 404 proyecta el rayo láser 406 que proyecta los objetivos de colocación de las muletas 407 en la superficie de apoyo 413. El paciente 401 ve los objetivos de colocación de las muletas 407 en la superficie de apoyo 413, permitiendo una mejor comprensión de dónde colocar las muletas. Específicamente, el paciente 401 usa la mano 409 para agarrar la empuñadura de la muleta 410 para guiar la muleta 411, que tiene una punta de interacción con el suelo 412, de tal manera que coloque la punta de interacción con el suelo 412 sobre el objetivo de colocación de la muleta 408 específico. El fisioterapeuta 402 observa el proceso y entiende mejor las habilidades del paciente 401 con el uso del exoesqueleto y el estado de rehabilitación, permitiendo que el fisioterapeuta 402 mejore el proceso de rehabilitación del paciente 401. Por supuesto, existen muchos otros tipos de recursos de ayuda para caminar además de una muleta, tales como andadores y bastones, y aquí se utiliza una muleta como ejemplo de realización. Será evidente para una persona experta en la materia del diseño de exoesqueletos que tal dispositivo de puntero láser puede trabajar con cualquier recurso de ayuda para caminar.

En un ejemplo de la tercera realización, un fisioterapeuta está utilizando un exoesqueleto en rehabilitación con un nuevo paciente que no tiene experiencia previa con la terapia con exoesqueleto. El paciente no está familiarizado con varios aspectos de la operación del exoesqueleto y el uso de muletas. La adición de objetivos de colocación de las muletas proyectados por los punteros láser integrales permite que el paciente se familiarice más rápidamente con la colocación de las muletas, lo que reduce el tiempo dedicado al aprendizaje del uso del sistema del exoesqueleto y lo que permite un uso más rápido en la rehabilitación y un mayor beneficio rehabilitador.

En una cuarta realización, el sistema de retroalimentación visual comprende, además, una pluralidad de medios de iluminación integrales, proyectando los medios de iluminación una o más imágenes/objetivos con una pluralidad de medios de iluminación de colores que se suman a la luz blanca, así como las gafas que se pone el usuario del exoesqueleto con un filtro óptico que elimina uno de los colores proyectados, lo que hace que la imagen/objetivo sea una luz de color visible para el usuario del exoesqueleto y, al mismo tiempo, hace que sea una luz blanca sutil para las personas que no usen las gafas con filtros ópticos. Los medios de iluminación están conectados a la estructura del exoesqueleto a través de medios accionados para controlar el cabeceo e inclinación de la proyección de los medios de iluminación. Los medios de accionamiento del ángulo de proyección de cabeceo e inclinación están conectados al sistema de control del exoesqueleto y están controlados de manera que los medios se dirijan hacia ubicaciones relevantes para el usuario, como los objetivos ideales de colocación de unas muletas, los objetivos ideales de colocación de los pies y el siguiente objetivo de movimiento. Esta realización tiene la gran ventaja de permitir que los objetivos de colocación se utilicen en público sin que los transeúntes se den cuenta.

Haciendo referencia a la figura 5, el paciente 501 lleva puesto el exoesqueleto 504, que está controlado por el sistema de control del exoesqueleto 505. El transeúnte 502 en las proximidades del exoesqueleto 504 y el paciente 501 es capaz de observar al paciente 501 y al exoesqueleto 504. Una pluralidad de medios de proyección de iluminación integral conectados a medios articulados que controlan el cabeceo y la inclinación 503 está montada sobre la estructura del exoesqueleto 504 y está en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto 505. Los medios de iluminación 503 proyectan una pluralidad de medios de iluminación de colores que se suman a la luz blanca 506 sobre la superficie de apoyo 514, lo que genera los objetivos de colocación de las muletas 507 en la superficie de apoyo 514. El paciente 501 usa gafas con un filtro óptico 508, estas gafas con filtro óptico 508 filtran y eliminan uno de los colores proyectados, convirtiendo los objetivos 507 en una luz de color visible para el paciente 501, mientras que los objetivos 507 parecen solo una luz blanca sutil para el transeúnte 502 que no usa gafas con filtros ópticos 508. Específicamente, el paciente 501 usa la mano 509 para agarrar la empuñadura de la muleta 510 para guiar la muleta 511, que tiene una punta de interacción con el suelo 512, de tal manera que coloque la punta de interacción con el suelo 512 sobre el objetivo de colocación de la muleta 513 específico.

En un ejemplo de la cuarta realización, un paciente usa y opera un exoesqueleto fuera de un contexto de rehabilitación, como en un lugar público. Fuera de un contexto de rehabilitación, tanto los obstáculos móviles como los fijos a los que se enfrenta un usuario del exoesqueleto aumentan, lo que genera mayores dificultades para operar el exoesqueleto. El uso de objetivos de colocación de las muletas proyectados por una pluralidad de medios de iluminación montados sobre la estructura del exoesqueleto por medios articulados y controlados por el sistema de control del exoesqueleto, ayuda enormemente al paciente en la operación del exoesqueleto en este contexto. Sin embargo, la proyección de los objetivos para las muletas visibles puede resultar una distracción para los transeúntes o que al paciente le de vergüenza. El requisito de las gafas con un filtro óptico para ver estos objetivos de colocación de las muletas solventa estos problemas, ya que los objetivos de colocación serán invisibles para los transeúntes que no lleven las gafas, permitiendo un uso más fácil del exoesqueleto por parte del paciente en un contexto distinto al de la rehabilitación.

En una quinta realización, el sistema de retroalimentación visual comprende además unas gafas que utiliza el usuario del exoesqueleto con un sistema de visualización integrado y un sistema de cámara, mostrando las gafas los objetivos de colocación que hacen que el usuario del exoesqueleto experimente una "visualización con la cabeza erguida". Las gafas y las cámaras están en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto, y el sistema de control del exoesqueleto determina la posición de la posición del exoesqueleto a través de la pluralidad de sensores integrados en el sistema del exoesqueleto que determinan la postura del exoesqueleto, mientras que la posición de las gafas con respecto al sistema de exoesqueleto se determina comparando los sensores inerciales montados dentro del sistema de exoesqueleto y los sensores inerciales montados dentro de las gafas con pantallas integradas. Este tipo de gafas

han sido desarrolladas por empresas como Google con sus "Google Glasses", que están disponibles actualmente.

La posición de las gafas con pantallas internas respecto al sistema del exoesqueleto se puede determinar comparando sensores inerciales, tales como unidades de medición inerciales montadas dentro del sistema del exoesqueleto y sensores inerciales montados dentro de las gafas con pantallas integradas. Adicionalmente, debido a que la información útil que se desea mostrar a menudo se desea que se muestre en el suelo, la adición de luces infrarrojas a los pies del exoesqueleto mejoraría la colocación de los pies y la precisión de la colocación de las muletas. El sistema de control del exoesqueleto podría proyectar posiciones relativas a la posición de la luz infrarroja. Así mismo, esto podría actuar como un activador ideal para encender las representaciones de colocación de los pies y las muletas: cuando el usuario del exoesqueleto mira hacia abajo, hacia sus pies, la cámara de las gafas detecta la luz infrarroja en los pies del exoesqueleto y muestra un activador de colocación en el suelo respecto a la ubicación de la luz infrarroja, como se ve en la cámara montada en las gafas. A medida que el usuario del exoesqueleto mueve la cabeza hacia arriba y la cámara ya no puede ver las luces infrarrojas, las ubicaciones de visualización de los activadores se pueden regular utilizando la navegación por estima de los acelerómetros montados en las gafas de visualización. Después, la visualización del activador podría desaparecer lentamente hasta que el usuario del exoesqueleto mire de nuevo hacia los pies del exoesqueleto. Esto evita uno de los problemas principales de la detección de posición por navegación por estima: que la posición puede variar con el tiempo. Las luces infrarrojas montadas en los pies del exoesqueleto permitirían que el sistema de navegación por estima se recalibre a una posición real cada vez que la cámara pueda ver los pies.

Adicionalmente, las estimaciones de la postura del exoesqueleto podrían mejorarse utilizando la información de las gafas integrando luces infrarrojas en la estructura del exoesqueleto. La cámara montada en las gafas podría proporcionar información de posición relativa al sistema de control del exoesqueleto siempre que el usuario del exoesqueleto mire el exoesqueleto calculando las distancias entre las fuentes de luz infrarroja, como se ve en la cámara de las gafas de visualización.

Haciendo referencia a la figura 6, el paciente 601 lleva puesto el exoesqueleto 602, que está controlado por el sistema de control del exoesqueleto 603. El paciente 601 también lleva gafas con un sistema de visualización integrado 604. Sobre las gafas con un sistema de visualización integrado 604 se monta una cámara 605. Ambas gafas con un sistema de visualización integrado 604 y la cámara 605 están en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto 603. Montadas en varios puntos de la estructura del exoesqueleto 602 hay luces infrarrojas 608. La cámara 605 observa la luz emitida por las luces infrarrojas 608 y comunica esta información al sistema de control del exoesqueleto 603. El sistema de control del exoesqueleto 603 utiliza la información de la cámara 605 para determinar la posición y la dirección de las gafas con un sistema de visualización integrado 604 en relación con el exoesqueleto 602, y utiliza esta información de posición relativa para determinar la ubicación de las imágenes visuales que se mostrarán en las gafas con un sistema de visualización integrado 604, incluidos los objetivos para la colocación de las muletas 606 y los objetivos para la colocación de los pies 607, ubicándose los objetivos para la colocación de las muletas 606 y los objetivos para la colocación de los pies 607 en la superficie de apoyo 614. A continuación, el paciente 601 ve estos objetivos proyectados 606 y 607 a través de lentes con un sistema de visualización integrado 604 y el paciente 601 utiliza estos objetivos proyectados 606 y 607 para ayudar a la operación del exoesqueleto. Específicamente, el paciente 601 usa la mano 609 para agarrar la empuñadura de la muleta 610 para guiar la muleta 611, que tiene una punta de interacción con el suelo 612, de tal manera que coloque la punta de interacción con el suelo 612 sobre el objetivo de colocación de las muletas 613 específico.

En un ejemplo de la quinta realización, un fisioterapeuta está utilizando un exoesqueleto en rehabilitación con un nuevo paciente que no tiene experiencia previa con la terapia con exoesqueleto. El paciente no está familiarizado con varios aspectos de la operación del exoesqueleto y el uso de muletas. La adición de objetivos de colocación de las muletas y los pies que se muestran en las gafas con un sistema de visualización integral permite que el paciente se familiarice más rápidamente con la colocación de las muletas y los pies, lo que reduce el tiempo dedicado al aprendizaje del uso del sistema del exoesqueleto, lo que permite un uso más rápido en la rehabilitación y un mayor beneficio rehabilitador. Además de los objetivos de colocación de las muletas y los pies, estas gafas con pantallas internas podrían usarse para transmitir información al usuario del exoesqueleto, incluido, aunque sin limitación, el nivel de la batería, el equilibrio del sistema del exoesqueleto (ya sea centro de presión o centro de masa), la posición del exoesqueleto en un ciclo de trayectoria o grupo de ciclos, la dirección del movimiento, el modo de acción de dicho momento, los modos de acción disponibles, la visualización de errores o fallos o una multitud de otros parámetros conocidos por el sistema de control del exoesqueleto. De manera adicional, un fisioterapeuta también podría utilizar un par de gafas similar con un sistema de visualización integrado que permitiera al fisioterapeuta acceder a información similar del sistema de control del exoesqueleto.

Otro sistema de retroalimentación supone la comunicación de información al usuario sobre el centro de presión del exoesqueleto y el usuario del exoesqueleto. Una persona utiliza el conocimiento del centro de presión para sentir cuándo está en equilibrio sobre sus pies. No obstante, para usuarios sin sensibilidad a la presión en los pies, esta información debe presentarse de otra manera. Son posibles múltiples métodos de retroalimentación para el centro de presión. Un método preferido es utilizar la retroalimentación táctil en un área donde el usuario pueda sentir y procesar esa información.

Una sexta realización de esta invención comprende también un método y un dispositivo montado sobre y exoesqueleto o el usuario del exoesqueleto que transmite información desde el sistema de control del exoesqueleto al usuario del exoesqueleto, que proporciona retroalimentación sobre el centro de presión del dispositivo de exoesqueleto y del usuario. Una realización de la retroalimentación del centro de presión comprende una rueda que está unida al exoesqueleto o a otra estructura utilizada por el usuario del exoesqueleto. La rueda se mueve en un plano paralelo al cuerpo del usuario del exoesqueleto para indicar el movimiento del centro de presión. La rueda también se puede accionar para moverse hacia adentro y hacia afuera proporcionando un nivel variable de presión. Esta presión puede indicar la velocidad del centro de presión, la desviación de la ideal, o la diferencia entre el centro de presión y el centro de masa. En algunas realizaciones, muchas de estas ruedas en contacto con el usuario, de modo que se pueden mostrar muchos valores diferentes. En algunas realizaciones, la rueda comprende una bola y el exoesqueleto la impulsa para moverse en dos dimensiones (X-Y) y para empujar con un nivel variable de fuerza, producir una visualización tridimensional capaz de mostrar información tal como, pero sin limitarse a, un mapeo del centro de presión del usuario del exoesqueleto en el eje delantero y lateral, así como la fuerza vertical del usuario del exoesqueleto.

Haciendo referencia a la figura 7, el paciente 701 lleva puesto el exoesqueleto 702 que está controlado por el sistema de control del exoesqueleto 703. Unidas al exoesqueleto 702 hay estructuras para los pies 705. Las estructuras para los pies 705 interactúan con la superficie del suelo 706. Sobre la superficie inferior de las estructuras para los pies 705 hay sensores de fuerza sobre el suelo 704 que miden la fuerza que ejerce cada estructura para los pies 705 sobre el suelo 706. Los sensores de fuerza sobre el suelo 704 están en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto 703, que utiliza los datos de los sensores de fuerza sobre el suelo 704 y un algoritmo para determinar el centro de presión del exoesqueleto 702 y el paciente 701, que se muestra en la figura 7 específicamente para el plano sagital centrado en 710. Unida al exoesqueleto 702 hay una estructura de montaje de la rueda de retroalimentación 707, que está unida a una rueda motorizada 708. La rueda motorizada 708 está en contacto con el paciente 701, siendo asistido este contacto por el dispositivo de retención de rueda regulable 709. La rueda motorizada 708 está en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto 703, que puede hacer que la rueda motorizada 708 gire en el plano sagital en sentido dextrógiro 712 o en sentido levógiro 713. Ya que el sistema de control del exoesqueleto 703, que utiliza los datos de los sensores de fuerza 704, detecta la desviación desde el centro de presión en el plano sagital 710 a lo largo de la línea discontinua 711, la rueda motorizada 708 se activa para girar y proporcionar retroalimentación al paciente 701 en cuanto a la desviación desde el centro de presión 710. Específicamente, si el sistema de control del exoesqueleto 703 detecta una desviación hacia adelante en el centro de presión a lo largo de 711, entonces la rueda motorizada 708 gira en sentido dextrógiro 712, proporcionando retroalimentación al paciente 701 para que se incline hacia atrás. De la misma manera, si el sistema de control del exoesqueleto 703 detecta una desviación hacia atrás en el centro de presión a lo largo de 711, entonces la rueda motorizada 708 gira en sentido levógiro 713, proporcionando retroalimentación al paciente 701 para que se incline hacia adelante.

Será evidente para una persona experta en la materia que hay una serie de realizaciones similares a esta séptima realización. Por ejemplo, la estructura de montaje de la rueda 707 podría accionarse y la rueda 708 rodaría hacia arriba y hacia abajo por el cuello de la persona. En esta realización, la posición del rodillo comunica información al usuario. En general, esta clase de dispositivos controla el movimiento de un punto de contacto táctil (es decir, la rueda), cuya posición comunica información a la persona. En algunas realizaciones, el punto de contacto táctil puede moverse en varios ejes para transmitir varios datos independientes al usuario.

En un ejemplo de la sexta realización, un paciente que utiliza un dispositivo de exoesqueleto puede padecer tanto pérdida de la función muscular en las extremidades inferiores como pérdida de la sensibilidad en las extremidades inferiores. Sin sensibilidad en las extremidades inferiores, es difícil para este paciente mantener el equilibrio entre él mismo y el dispositivo de exoesqueleto. Al colocar múltiples ruedas para el centro de presión en áreas donde el paciente todavía tiene sensibilidad, la información del centro de presión se puede transmitir al paciente para recuperar el sentido y la capacidad de equilibrio. En el ejemplo claro mostrado en la figura 7, una rueda en la parte posterior del cuello del paciente proporciona al paciente la información de presión del centro de adelante hacia atrás, así como el sentido del equilibrio entre el frente y la espalda. En otra realización, la adición de una o más ruedas en un lado o lados del cuello del paciente podría usarse de manera similar para proporcionar información del centro de presión de lado a lado (en el plano frontal) y recuperar el sentido del equilibrio de lado a lado del paciente. Combinando la información del centro de presión para el posicionamiento de adelante hacia atrás y de lado a lado, se mejora el equilibrio general del paciente.

En una séptima realización, el sistema de retroalimentación táctil del centro de presión comprende motores vibratorios u otros motores táctiles que se colocan en contacto con el cuerpo del usuario del exoesqueleto. Los motores están en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto y aplican retroalimentación al usuario del exoesqueleto al transmitir una sensación de empuje o un barrido en la dirección en la que debe moverse el usuario del exoesqueleto. La amplitud de la vibración puede indicar información, como la velocidad deseada o el grado de movimiento necesario. La retroalimentación vibratoria podría darse en el tronco, los brazos, el cuello o la cabeza, según sea conveniente para la retroalimentación y el nivel de lesión/discapacidad del usuario del exoesqueleto. Estos métodos pueden combinarse. Por ejemplo, una realización incluye los actuadores táctiles en los brazos del usuario del exoesqueleto que se activan para imitar un empuje hacia la izquierda o hacia la derecha, como lo haría un fisioterapeuta durante el entrenamiento para caminar. De igual modo, los actuadores en el pecho y la espalda (o delante y detrás de los hombros) del usuario

del exoesqueleto imitarían un empuje hacia adelante o hacia atrás, como lo haría un fisioterapeuta. En algunas realizaciones, se pueden usar conjuntos de motores de vibración para producir señales relativas a través del cuerpo del usuario del exoesqueleto.

5 Haciendo referencia a la figura 8, el paciente 801 lleva puesto el exoesqueleto 802 que está controlado por el sistema de control del exoesqueleto 803. Unidas al exoesqueleto 802 hay estructuras para los pies 805. Las estructuras para los pies 805 interactúan con la superficie del suelo 806. Sobre la superficie inferior de las estructuras para los pies 805 hay sensores de fuerza sobre el suelo 804 que miden la fuerza que ejerce cada estructura para los pies 805 sobre el suelo 806. Los sensores de fuerza sobre el suelo 804 están en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto 803, que utiliza los datos de los sensores de fuerza sobre el suelo 804 y un algoritmo para determinar el centro de presión del exoesqueleto 802 y del paciente 801 en los planos sagital y frontal. El paciente 801 lleva puesto el cinturón de retroalimentación 807, que está montado y controla ocho motores vibratorios en incrementos de 45 grados alrededor de su circunferencia en el plano axial. En el panel izquierdo de la figura 8 se muestran específicamente motores a 0 grados 808, 315 grados 809, 270 grados 810 y 225 grados 811. El cinturón de retroalimentación 807 está en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto 803, que puede activar los motores del cinturón de retroalimentación 807 en relación con la desviación desde el centro de presión medida por los sensores de fuerza 804 y determinada por el sistema de control del exoesqueleto 803. En un ejemplo específico, el sistema de control del exoesqueleto 803 detecta un cambio en el centro de presión hacia 300 grados (300 grados como se muestra en la figura 8), por lo que el sistema de control del exoesqueleto 803 envía una señal al cinturón de retroalimentación 807 para activar los motores vibratorios 810 y 809, dejando los motores vibratorios 808 y 811 en la posición de apagado. La activación de los motores vibratorios 810 y 809 indicaría al paciente 801 que su centro de presión se está desviando hacia los dos motores 810 y 809 al activarse, incitando al paciente 801 a inclinarse al lado contrario de estos motores 810 y 809.

25 En un ejemplo de la séptima realización, un paciente que utiliza un dispositivo de exoesqueleto puede padecer tanto pérdida de la función muscular en las extremidades inferiores como pérdida de la sensibilidad en las extremidades inferiores. Sin sensibilidad en las extremidades inferiores, es difícil para este paciente mantener el equilibrio entre él mismo y el dispositivo de exoesqueleto. Al colocar varios motores vibratorios en áreas donde el paciente todavía tiene sensibilidad, la información del centro de presión se puede transmitir al paciente para recuperar el sentido y la capacidad de equilibrio. Los ocho motores vibratorios en el plano axial que se muestran en la figura 8, que están conectados a un sistema de control del exoesqueleto con capacidades de detección del centro de presión, proporcionan un medio por el cual el paciente puede recibir retroalimentación de equilibrio en los planos sagital y frontal. En este ejemplo, si el sistema de control del exoesqueleto detecta que el centro de presión del paciente y el exoesqueleto se mueven demasiado hacia adelante, los motores vibratorios en las partes delanteras del cinturón de retroalimentación se activarán e incitarán al paciente a inclinarse hacia atrás hasta que el sistema de control del exoesqueleto determine que el centro de presión se encuentra dentro de un rango aceptable.

40 En una octava realización, el sistema de retroalimentación del centro de presión comprende una malla de temperatura conectada al usuario del exoesqueleto que está en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto. La malla de temperatura transmite información al usuario del exoesqueleto mediante la inducción de sensaciones de temperatura. Una realización comprende una malla térmica sobre la lengua del usuario del exoesqueleto. En esta realización, la superficie de la lengua del usuario del exoesqueleto se asigna a la base de los pies del usuario del exoesqueleto. A continuación, el centro de presión del usuario del exoesqueleto y del dispositivo de exoesqueleto se indica calentando un nodo en la misma posición de la malla que el centro de presión sobre el pie. El grado de temperatura representa la fuerza en el pie.

50 En un ejemplo simplificado de la octava realización, se coloca una malla térmica en la lengua de un usuario del exoesqueleto con cuatro nodos calentados, uno en la parte delantera de la lengua, uno en la parte trasera de la lengua, uno a la izquierda de la lengua y otro a la derecha de la lengua. Esta malla térmica transmite al usuario del exoesqueleto la información del centro de presión del sistema de control del exoesqueleto, que está equipado con medios de detección del centro de presión. Si el centro de presión del exoesqueleto y del usuario del exoesqueleto se desplaza hacia adelante, el sistema de control del exoesqueleto activa el nodo calentado en la parte delantera de la lengua del usuario, incitando al usuario del exoesqueleto a inclinarse hacia atrás. De la misma manera, si el sistema de control del exoesqueleto detecta que el centro de presión se está desplazando hacia la izquierda, el nodo calentado a la izquierda de la lengua se activa, lo que hace que el usuario del exoesqueleto se incline hacia la derecha. La información del centro de presión en los planos sagital y frontal podría combinarse. Por ejemplo, si el sistema de control del exoesqueleto detecta un cambio del centro de presión hacia atrás y hacia la derecha, se activan los nodos calentados en la parte delantera y a la derecha de la lengua, incitando al usuario del exoesqueleto a inclinarse hacia adelante y hacia la izquierda.

60 Cabe señalar que se podrían utilizar sistemas mucho más complicados, incluidos, aunque sin limitación, mallas con muchos más nodos calentados, mallas con intensidades variables de calor en cada nodo, mallas con gradientes de calor sobre conjuntos de nodos, nodos con pulsos de calor, o mallas que utilizan otro tipo de retroalimentación sobre la malla de la lengua, como estimulación vibrotáctil, eléctrica o de otro tipo, así como mallas colocadas en otras ubicaciones del cuerpo del usuario del exoesqueleto.

En una novena realización, el centro del sistema de retroalimentación de presión está compuesto por un dispositivo auditivo montado sobre el exoesqueleto o el usuario del exoesqueleto, que transmite información desde el sistema de control del exoesqueleto al usuario del exoesqueleto a través de sonidos. El dispositivo auditivo comprende un conjunto de altavoces, y el dispositivo indica al usuario del exoesqueleto la dirección y magnitud de desviación desde el centro del centro de presión. En una realización, cuando el sistema de control del exoesqueleto determina que el centro de presión del exoesqueleto y del usuario del exoesqueleto se desplaza demasiado hacia la izquierda, los altavoces generan un sonido cada vez más fuerte a la izquierda del usuario del exoesqueleto. De la misma manera, cuando el sistema de control del exoesqueleto determina que el centro de presión del exoesqueleto y del usuario del exoesqueleto se desplaza demasiado hacia la derecha, los altavoces generan un sonido cada vez más fuerte a la derecha del usuario del exoesqueleto. En otra realización, el conjunto de altavoces puede comprender simplemente dos altavoces que se utilizan para proporcionar de esta manera información de lado a lado o de adelante hacia atrás. En otra realización, la adición de más altavoces al conjunto de altavoces da como resultado la capacidad de transmitir una información de posición más precisa desde el sistema de control del exoesqueleto al usuario del exoesqueleto, que es de particular utilidad para transmitir al usuario del exoesqueleto la información de posición de adelante hacia atrás. En otra realización, podrían utilizarse uno o más altavoces con una variedad de tonos para indicar al usuario del exoesqueleto la dirección y magnitud de desviación del centro de presión. En otra realización, se utilizan uno o más altavoces para variar continuamente la frecuencia en función de la posición lateral, para así transmitir la información del centro de presión al usuario del exoesqueleto. En otra realización, podrían usarse uno o más altavoces con una variedad de tonos para indicar la dirección y la magnitud de la información de posición. También es posible que uno o más altavoces varíen continuamente su frecuencia en función de la posición lateral, para así transmitir la información del centro de presión. En otra realización, el altavoz podría emitir una serie de clics, indicando la frecuencia de los clics un ángulo de inclinación similar (es decir, el índice de clics proporcional al ángulo de inclinación) a la forma en que un contador Geiger transmite información a través de una serie de clics. En otra realización, mediante la combinación de dos (o más) medios para modular los altavoces, el dispositivo auditivo podría transmitir más de una cantidad a la vez, por ejemplo, el volumen relativo izquierdo/derecho podría indicar un ángulo de inclinación izquierdo/derecho y la frecuencia podría indicar un ángulo de inclinación de adelante hacia atrás. Aunque en este ejemplo se analizan el centro de presión y el ángulo de inclinación, estos están pensados como ejemplos y la máquina podría transmitir al usuario otro tipo de información. Así mismo, la conversión entre la información que la máquina está comunicando a los medios por los cuales se comunica (por ejemplo, la conversión de ángulo de inclinación a frecuencia) no debe ser lineal. De modo que, aunque es posible que

$$Frecuencia = a \times \text{ÁnguloInclinación} + b \text{ donde } a, b \text{ son constantes}$$

Otra realización podría ser

$$Frecuencia = a \times \text{sen}(\text{ÁnguloInclinación}) + b$$

o

$$Frecuencia = a \times \text{signo}(\text{ÁnguloInclinación}) \times \sqrt{\text{abs}(\text{ÁnguloInclinación})} + b$$

Donde la última función tiene la ventaja de producir cambios muy grandes para los valores del ÁnguloInclinación cercanos a cero, pero se vuelve menos sensible con valores mayores del ÁnguloInclinación para que el usuario del exoesqueleto pueda hallar más fácilmente la posición vertical (aquí se supone que ÁnguloInclinación es cero cerca de la vertical y podría ser tan simple como el ángulo del tronco con respecto a la gravedad o tan complejo como el ángulo de una línea desde el pivote del tobillo del usuario hasta su centro de masa). El término constante b debe elegirse para que la ecuación no genere un valor negativo para los rangos del ÁnguloInclinación de interés (ya que la frecuencia negativa no tiene sentido físico en este contexto). En la práctica, puede ser deseable que b sea una frecuencia que se encuentre en el medio del rango de audición de un paciente. En algunas realizaciones, estos parámetros y la ecuación en sí podrían regularse según los diferentes usuarios del exoesqueleto para maximizar su capacidad de comprensión. Cabe señalar que, en el caso de los pacientes con accidente cerebrovascular, puede haber diferencias significativas en la audición en el lado del cuerpo afectado y en el no afectado, por lo que es de gran utilidad poder regular los parámetros de la retroalimentación auditiva de tal manera que sean más fáciles de interpretar para estos pacientes.

Haciendo referencia a la figura 9, el paciente 901 lleva puesto el exoesqueleto 902 que está controlado por el sistema de control del exoesqueleto 903, estando equipado el sistema de control del exoesqueleto 903 con medios de detección del centro de presión (como se muestra en las figuras 6-8). Unida al paciente 901 está la correa de retención del dispositivo auditivo 912, que está unida al dispositivo auditivo derecho 904 y al dispositivo auditivo izquierdo 905. El dispositivo auditivo derecho 904 contiene el altavoz derecho 906, que está en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto 903. El altavoz derecho 906 emite sonido 908 en función de los comandos del sistema de control del exoesqueleto 903, que escucha el oído derecho 910 del paciente 901. El dispositivo auditivo izquierdo 905 contiene el altavoz izquierdo 907, que está en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto 903. El altavoz izquierdo 907 emite sonido 909 en función de los comandos del sistema de control del exoesqueleto 903, que escucha el oído izquierdo 910 del paciente 901. Como el sistema de control del exoesqueleto 903 determina un cambio del centro de presión a lo largo del plano frontal, se transmite una señal al dispositivo auditivo derecho 904 y al dispositivo auditivo izquierdo 905. Los dispositivos auditivos 904 y 905 hacen que los altavoces 906 y 907, respectivamente,

produzcan el sonido 906 y 907 que escucha el paciente 901 con el oído derecho 910 y el oído izquierdo 911, respectivamente.

5 En un ejemplo de la novena realización, un paciente que utiliza un dispositivo de exoesqueleto puede padecer tanto pérdida de la función muscular en las extremidades inferiores como pérdida de la sensibilidad en las extremidades inferiores. Sin sensibilidad en las extremidades inferiores, es difícil para este paciente mantener el equilibrio entre él mismo y el dispositivo de exoesqueleto. Los altavoces controlados por el sistema de control del exoesqueleto, que está en comunicación con los altavoces y equipado con medios de detección del centro de presión, permiten que el sonido se utilice para transmitir información del centro de presión al paciente, lo que puede mejorar el equilibrio del paciente que lleve puesto el dispositivo de exoesqueleto. En un ejemplo simplificado, un paciente lleva puesto un dispositivo auditivo con unos altavoces izquierdo y derecho que transmiten el sonido a los oídos izquierdo y derecho del paciente. Como el sistema de control del exoesqueleto detecta que el paciente ha cambiado el centro de presión demasiado hacia la izquierda, el altavoz izquierdo produce una oportunidad audible que incita al paciente a inclinarse hacia la derecha. De la misma manera, cuando el sistema de control del exoesqueleto detecta que el paciente ha cambiado el centro de presión demasiado hacia la derecha, el altavoz derecho produce una oportunidad audible que incita al paciente a inclinarse hacia la izquierda.

20 Como la retroalimentación auditiva del centro de presión puede resultar abrumadora para los usuarios, la retroalimentación auditiva también se puede utilizar para retroalimentar otras indicaciones para caminar y mantener el equilibrio. Una de esas indicaciones es el desplazamiento lateral necesario antes de dar un paso con la pierna opuesta. Para mantener el equilibrio al caminar, el peso tiene que cambiarse a la pierna de apoyo. Por tanto, la retroalimentación auditiva puede proporcionar indicaciones sobre lo que le falte al usuario para lograr el desplazamiento lateral requerido para mantener el equilibrio en la pierna de apoyo. De igual modo, el desplazamiento hacia adelante de las caderas sobre el pie de apoyo también podría indicarse mediante retroalimentación auditiva.

25 Una décima realización que no forma parte de la invención comprende, además, un dispositivo unido a un recurso de ayuda para caminar, unido al usuario del exoesqueleto, que transmite información desde el sistema de control del exoesqueleto al usuario del exoesqueleto que proporciona retroalimentación y orientación al usuario del exoesqueleto con respecto al uso del recurso de ayuda para caminar. En una realización, el recurso de ayuda para caminar comprende una muleta sostenida en cada mano del usuario del exoesqueleto. Las empuñaduras de las muletas están equipadas con un motor vibratorio que está en controlado por el sistema de control del exoesqueleto. Durante el proceso de caminar, a medida que el usuario del exoesqueleto va cambiando su peso, la empuñadura de la muleta proporciona retroalimentación vibratoria sobre dónde y en qué medida el usuario del exoesqueleto debe cambiar de peso. Este dispositivo es útil para garantizar que el usuario del exoesqueleto esté equilibrado sobre sus pies en lugar de depender demasiado del recurso de ayuda para caminar para mantener el equilibrio. Estos métodos de retroalimentación utilizados para proporcionar al usuario información sobre el centro de presión también se pueden utilizar para proporcionar al usuario del exoesqueleto información sobre su posicionamiento general, como la ubicación de su cadera sobre el pie de apoyo o su inclinación hacia adelante y hacia los lados. Estos mecanismos de retroalimentación podrían indicar la necesidad de desplazarse hacia adelante/atrás o hacia la izquierda/derecha según sea necesario para lograr la orientación deseada. En otra realización, el mecanismo de retroalimentación en la empuñadura de la muleta un mecanismo háptico electrostático o cualquier otro mecanismo de retroalimentación háptica.

45 Haciendo referencia a la figura 10, el paciente 1001 lleva puesto el exoesqueleto 1002 que está controlado por el sistema de control del exoesqueleto 1003. Unidas al exoesqueleto 1002 hay estructuras para los pies 1005. Las estructuras para los pies 1005 interactúan con la superficie del suelo 1006. Sobre la superficie inferior de las estructuras para los pies 1005 hay sensores de fuerza sobre el suelo 1004 que miden la fuerza que ejerce cada estructura para los pies 1005 sobre el suelo 1006. Los sensores de fuerza sobre el suelo 1004 están en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto 1003, que utiliza los datos de los sensores de fuerza sobre el suelo 1004 y un algoritmo para determinar el centro de presión del exoesqueleto 1002 y el paciente 1001. El paciente 1001 sostiene las muletas 1009 por las empuñaduras de las muletas equipadas con un motor vibratorio 1008, estando equipadas las empuñaduras de las muletas con un motor vibratorio 1008 en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto 1003. Las muletas 1009 tienen una punta de interacción con el suelo equipada con un sensor de presión 1010, estando equipada la punta de interacción con el suelo con un sensor de presión 1010 en comunicación con el sistema de control del exoesqueleto 1003. El sistema de control del exoesqueleto 1010 utiliza un algoritmo para procesar la información de la punta de interacción con el suelo equipada con un sensor de presión 1010 y, en función de la información de los dos sensores de fuerza del suelo 1004 y de la punta que interactúa con el suelo equipada con un sensor de presión 1010, el sistema de control del exoesqueleto determina la información sobre el centro de presión y otros parámetros de equilibrio. Después, el sistema de control del exoesqueleto 1003 transmite la información del cambio de equilibrio y orientación al usuario del exoesqueleto 1001 a través de las empuñaduras de las muletas equipadas con un motor vibratorio 1008.

65 En un ejemplo de la décima realización, un paciente que utiliza un dispositivo de exoesqueleto puede padecer tanto pérdida de la función muscular en las extremidades inferiores como pérdida de la sensibilidad en las extremidades inferiores. Sin sensibilidad en las extremidades inferiores, es difícil para este paciente mantener el equilibrio entre él mismo y el dispositivo de exoesqueleto. Al proporcionar retroalimentación al paciente a través de motores vibratorios

en el recurso de ayuda para caminar, el sistema de control del exoesqueleto puede disminuir la relación entre el peso del paciente soportado por las muletas respecto al peso soportado por el exoesqueleto. De manera adicional, esta retroalimentación a través de motores vibratorios en las muletas puede mejorar el equilibrio general del paciente, ayudando en el transcurso de la rehabilitación.

5 Además de las ubicaciones descritas anteriormente para los componentes en cada realización, mediante los cuales se proporciona retroalimentación desde el sistema de control del exoesqueleto al usuario del exoesqueleto o a un fisioterapeuta, o sensores/iluminación/otros medios o sistemas que son utilizados por el sistema de control del exoesqueleto para recopilar datos relacionados con la retroalimentación, cabe señalar que son posibles otras  
10 ubicaciones de colocación adicionales para las diversas realizaciones de los medios de retroalimentación, medios de detección o medios de iluminación. También cabe señalar que se pueden combinar múltiples realizaciones de medios de retroalimentación. En la figura 11, se muestran algunos ejemplos de las opciones de colocación principales de los medios de retroalimentación y/o sistemas relacionados. La ubicación 1101 comprende medios de retroalimentación y/o sistemas relacionados montados en la estructura de los pies, la ubicación 1102 comprende medios de retroalimentación y/o sistemas relacionados montados a lo largo de la pierna (espinilla), la ubicación 1103 comprende  
15 medios de retroalimentación y/o sistemas relacionados montados en la articulación de la rodilla, la ubicación 1104 comprende medios de retroalimentación y/o sistemas relacionados montados a lo largo de la carcasa del motor de la rodilla, la ubicación 1105 comprende medios de retroalimentación y/o sistemas relacionados montados a lo largo del muslo, la ubicación 1106 comprende medios de retroalimentación y/o sistemas relacionados montados en la estructura sacra, la ubicación 1107 comprende medios de retroalimentación y/o sistemas relacionados montados en la articulación de la cadera, la ubicación 1108 comprende medios de retroalimentación y/o sistemas relacionados montados en la carcasa del motor de la cadera, y la ubicación 1109 comprende medios de retroalimentación y/o  
20 sistemas relacionados montados en la estructura del tronco. Estas ubicaciones especificadas constituyen solo ejemplos de ubicaciones de montaje; de ninguna manera esta lista de ubicaciones limita o impide o restringe la colocación de los medios de retroalimentación y/o sistemas relacionados en posiciones alternativas.

Hay varias realizaciones que convierten los datos del exoesqueleto en un formato "listo para la retroalimentación" adecuado para comunicárselo a un operario del exoesqueleto. Estos conceptos se evaluaron en función de la utilidad de la información comunicada al operario del exoesqueleto. En particular, es importante comunicar información al  
30 usuario o al operario que no sea evidente para ellos. Las fuerzas aplicadas por el exoesqueleto son difíciles de ver para un terapeuta, por ejemplo, pero los ángulos de los diversos segmentos de las piernas son muy visibles. Por otro lado, para el usuario del dispositivo, es posible que los ángulos de los segmentos de las piernas no sean visibles y puede ser útil transmitirles cierta información (especialmente si la función de caminar de la ortesis puede ser irregular). El primer conjunto de algoritmos de "retroalimentación lista" utiliza información directamente de los diversos sensores  
35 integrales de un exoesqueleto que recopilan datos sobre el estado del exoesqueleto, incluidos, entre otros, los ángulos articulares y los pares articulares.

Los algoritmos que calculan el par articular de dicho momento del exoesqueleto en relación con el par articular máximo disponible del exoesqueleto se han identificado como importantes activadores novedosos de "retroalimentación lista" para comunicarse con un operario del exoesqueleto. Estos algoritmos y los sensores requeridos son muy evidentes  
40 para un experto en la materia del diseño de exoesqueletos. Cuando la información del par articular se comunica a un usuario del exoesqueleto, un usuario del exoesqueleto recibe una sensación, que es el resultado de la sensación de tensión muscular en un humano. Esta información permite al usuario entender mejor los límites de un exoesqueleto de la misma manera que una persona entiende los límites de su propio cuerpo. Esta comprensión le da al usuario del exoesqueleto una mayor confianza cuando empuja un dispositivo de exoesqueleto cerca de los límites de par y la capacidad de entender dónde están los límites.

También se han desarrollado conceptos que son variaciones de los algoritmos del par articular. Uno de estos otros activadores novedosos de "retroalimentación lista" es el par articular esperado menos el par articular real proporcionado. El par articular esperado se puede calcular aproximadamente en función del peso del usuario del exoesqueleto una la postura del dispositivo de exoesqueleto; los métodos para realizar este cálculo son muy evidentes para una persona experta en la materia del diseño de exoesqueletos. Cuando se comunica al usuario del exoesqueleto, esta información de par esperada menos la real proporciona al usuario del exoesqueleto la capacidad de detectar  
50 inmediatamente los obstáculos que impiden el movimiento del exoesqueleto. Principalmente, se puede detectar un objeto en el que esté atrapado el exoesqueleto y permitir que el usuario del exoesqueleto cambie de rumbo, en lugar de acumular par hasta que el exoesqueleto se libere, lo que podría provocar daños en el exoesqueleto o lesiones en el usuario del exoesqueleto.

Otro activador novedoso "listo para la retroalimentación" relacionado con el par articular son las fuerzas de interacción entre el exoesqueleto y el operario del exoesqueleto. Esta fuerza se puede medir utilizando galgas extensométricas o sensores de presión comunes en los puntos de interfaz entre el exoesqueleto y el ser humano. La comunicación de esta información al operario del exoesqueleto permite ventajas similares a las de comunicar directamente el par articular.

65 Otro activador novedoso "listo para la retroalimentación" relacionado con el par articular es el nivel de asistencia proporcionado por el dispositivo cuando se utiliza un dispositivo en un entrenamiento de rehabilitación. El cálculo del

nivel de asistencia es una función de las fuerzas de interacción entre el exoesqueleto y el usuario del exoesqueleto y es muy evidente para una persona experta en la materia del diseño de exoesqueletos. Este nivel de asistencia permite que un fisioterapeuta o un paciente en rehabilitación entiendan cuánto trabajo está haciendo la máquina y cuánto trabajo está haciendo el paciente. Esto les da al fisioterapeuta y al paciente el objetivo de minimizar el nivel de asistencia para maximizar el beneficio de rehabilitación. Esto es especialmente aplicable en el entrenamiento de rehabilitación para caminar para trastornos musculares en los que el objetivo es mejorar la función cuando el paciente no está usando el exoesqueleto; en este contexto, este activador le da al usuario del exoesqueleto retroalimentación directa sobre cuánto está modificando el exoesqueleto sus movimientos y, por lo tanto, una idea de cómo serían sus movimientos sin la ayuda de un exoesqueleto.

Si esta información basada en el par articular se comunica a un fisioterapeuta usando un dispositivo de exoesqueleto en un contexto de rehabilitación, esta hará que el fisioterapeuta entienda mejor el efecto del exoesqueleto en el paciente. Esta comprensión permitirá que el fisioterapeuta tome mejores decisiones sobre la progresión de un paciente y la configuración del dispositivo de exoesqueleto requerida para obtener el máximo beneficio de rehabilitación.

Otra clase de activadores de "retroalimentación lista" se basan en el exoesqueleto y en la información de la postura del usuario del exoesqueleto, como la ubicación del centro de presión, la ubicación del centro de gravedad y las posiciones relativas de los segmentos del exoesqueleto. Cuando se utiliza con pacientes con deficiencias sensoriales, como pacientes con lesión de la médula espinal, estos activadores intentan reemplazar el sentido cinestésico o somatosensorial del usuario del exoesqueleto para recuperar la propiocepción adecuada. Estas realizaciones incluyen las posiciones de las articulaciones entre sí, lo que puede permitir al usuario del exoesqueleto entender con mayor precisión su posición en el espacio. Por ejemplo, la retroalimentación puede proporcionar al usuario del exoesqueleto información sobre el ángulo de extensión de la cadera o la distancia entre la cadera y el tobillo. Estos pueden ser comentarios cualitativos como "adelante" o "atrás" o pueden ser cuantitativos que indiquen la distancia real hacia adelante o hacia atrás.

En un exoesqueleto, el centro de presión se puede calcular utilizando sensores de fuerza o presión ubicados debajo de los pies del usuario del exoesqueleto o del dispositivo de exoesqueleto (en el caso de un exoesqueleto con pies). El centro de masa se puede calcular utilizando sensores de ángulo articular, el exoesqueleto y los pesos de los segmentos del usuario del exoesqueleto. Para mejorar la precisión de estos cálculos, los ángulos articulares deben corregirse en función de la flexión de la estructura del exoesqueleto utilizando galgas extensométricas integradas dentro de la estructura del exoesqueleto. Las posiciones relativas de los segmentos del exoesqueleto también se pueden calcular utilizando ángulos articulares, longitudes de segmento y correcciones de flexión.

Un nuevo activador "listo para la retroalimentación" en el centro de la clase de presión es la posición relativa del centro de presión y el centro de masa del exoesqueleto y el sistema del usuario del exoesqueleto. Este activador de "listo para la retroalimentación" se refiere a una dirección en la que está cayendo el sistema y también se puede utilizar para indicar la velocidad de la caída por la distancia entre el centro de presión y el centro de masa. Esto permite al usuario del exoesqueleto sentir directamente su estabilidad dinámica que, en un individuo sin discapacidad, se comunica mediante una combinación de su sentido somatosensorial en los pies y su sentido cinestésico en la parte inferior del cuerpo.

Otro activador novedoso "listo para la retroalimentación" útil con los exoesqueletos para la parte inferior del cuerpo es la altura de cada pie desde el suelo. Este activador actúa para recuperar el sentido cinestésico del usuario del exoesqueleto. Esta retroalimentación puede detectarse de diversas formas que son evidentes para los expertos en la materia. Una realización utiliza sensores de proximidad, como emisores y receptores de sonar, para calcular la distancia al suelo junto con sensores de presión para determinar el contacto. Las realizaciones alternativas pueden incluir cámaras o mediciones de distancia con láser.

Otro activador novedoso "listo para la retroalimentación" útil con los exoesqueletos para la parte inferior del cuerpo es la distancia desde la parte delantera de cada pie hasta el obstáculo más cercano. Este activador permite que el usuario de un exoesqueleto detecte si es seguro continuar con una acción determinada. La información que se devuelve al usuario del exoesqueleto puede incluir la distancia al obstáculo o simplemente la presencia de un obstáculo en un rango determinado del camino.

Otro activador novedoso "listo para la retroalimentación" útil con los exoesqueletos para la parte inferior del cuerpo son las posiciones predichas del efector final de una acción seleccionada. Este activador no solo le proporciona al usuario del exoesqueleto información sobre una acción que está a punto de realizarse, sino también un objetivo de entrenamiento al que dirigirse para completar la acción. En una realización de este método, una representación visual, ya sea mediante un punto proyectado o una visualización con la cabeza erguida, informa al usuario del exoesqueleto de la posición final de su pie después de que se realice la acción. En una realización alternativa, la representación visual puede indicar dónde poner una muleta u otro recurso de ayuda para caminar a fin de prepararse para dar un paso.

Otra clase de activadores de "retroalimentación lista" comunican los parámetros del sistema de control, incluidas las acciones de dicho momento, las acciones planificadas y los cambios de control del usuario del exoesqueleto. Estos

activadores hacen que el usuario del exoesqueleto entienda mejor el estado del sistema de control del exoesqueleto para que el usuario del exoesqueleto siempre esté al tanto de las acciones del exoesqueleto antes de que se lleven a cabo. Estos activadores deben comunicarse de manera no obstaculizante. Esta comunicación de cambios de parámetros o acciones también brinda al usuario del exoesqueleto la oportunidad de confirmar o reconocer los cambios si es necesario.

Se conceptualizaron activadores adicionales de "retroalimentación lista", incluidos los vectores de fuerza de las manos al recurso de ayuda para caminar, las fuerzas del recurso de ayuda para caminar al suelo, el ángulo del tronco hacia adelante y hacia atrás, el ángulo del tronco de lado a lado, los ángulos articulares, el rumbo de la brújula, las solicitudes de cambio de modo, las confirmaciones de cambio de modo, la iniciación de la acción, la finalización de la acción, las alertas de posiciones inestables y las condicionales basadas en funciones de activadores individuales.

También se desarrollaron varios sistemas de retroalimentación novedosos utilizando los activadores de retroalimentación descritos anteriormente junto con medios novedosos para proporcionar retroalimentación a las vías sensoriales visuales, hápticas, auditivas y térmicas del usuario del exoesqueleto. Si bien no todos los dispositivos y métodos descritos en el presente documento han sido prototipados y probados funcionalmente, los sensores, controles e interfaces de salida constituyentes requeridos que serían necesarios como componentes de estos dispositivos son fácilmente evidentes para una persona experta en la materia del control de exoesqueletos.

En todas las realizaciones, los medios de comunicación entre los sensores del exoesqueleto y el sistema de control del exoesqueleto pueden ser inalámbricos o estar conectados por cable. De la misma manera, los medios de comunicación entre los sistemas de retroalimentación y el sistema de exoesqueleto pueden ser inalámbricos o estar conectados por cable.

Es importante comprender que los métodos y dispositivos descritos aquí, en combinación con nuestras divulgaciones en otras solicitudes relacionadas con la lectura de intenciones humanas en la máquina, podrían utilizarse para construir un sistema de exoesqueleto donde el propio paciente cierre el "circuito" de control más alto. En esta realización, los métodos divulgados en esta solicitud podrían utilizarse, por ejemplo, para comunicar el centro de presión del sistema de usuario/máquina al paciente y luego el paciente podría indicar, con métodos divulgados en nuestras otras solicitudes, cómo quieren que se mueva la máquina en tiempo real moviendo sus recursos de ayuda para caminar (o dedos, o manos, o brazos, o cabeza, por nombrar algunas realizaciones más). Como resultado, el paciente, que puede tener discapacidades motoras y sensoriales, y posiblemente una discapacidad completa de ambas en las piernas, podría recuperar la capacidad de caminar normal sobre la que tenga un control total. El paciente podría controlar el equilibrio de la máquina moviendo sus recursos de ayuda para caminar hasta la posición indicada del centro de presión deseado, e indicar a la máquina que dé un paso solicitando una posición del centro de presión delante de los pies, o detrás de los pies para caminar hacia atrás. La figura 12 incluye un diagrama de bloques del sistema de control que muestra esta realización.

Con respecto a la figura 12, el centro de presión y fuerza 1201 es el centro de presión de la fuerza distribuido sobre la superficie de apoyo y "Fz" la fuerza vertical del ser humano y la máquina sobre la superficie de apoyo. La estimación de la postura del exoesqueleto en 1202 es la representación interna del exoesqueleto de su orientación en el espacio. Los datos de 1201 y 1202, que contienen colectivamente información sobre 1203, que incluye la información del centro de presión en los planos sagital y frontal, así como de las posiciones del tobillo en el plano sagital, se transmiten al sistema de retroalimentación 1204 que va transfiriendo continuamente información del paciente que lleva puesto el dispositivo de exoesqueleto 1205 a la máquina, como los divulgados en esta solicitud. El paciente 1205 utiliza la interfaz humano-máquina 1206, un sistema que transfiere continuamente información de la persona a la máquina, como se divulga en nuestras otras solicitudes, para transmitir información de la intención del paciente 1205, incluyendo el centro de presión deseado en los planos sagital y frontal 1207, al módulo de coordinación de las articulaciones del controlador 1208, que es el control de la máquina de nivel inferior realizado en el controlador del exoesqueleto que manipula los actuadores del exoesqueleto para generar la posición deseada del centro de presión. El control de circuito cerrado 1208 controla el dispositivo de exoesqueleto 1209, lo que deriva en cambios en las trayectorias del exoesqueleto. Utilizando este sistema, es posible cerrar el circuito de control a través de la persona para que la persona pueda controlar directamente el movimiento del exoesqueleto. Aunque los métodos e interfaces para establecer la comunicación de la máquina al ser humano se conocen bien la técnica, la combinación de estos con los sistemas de retroalimentación divulgados en esta solicitud permite a la persona que lleva puesto el dispositivo controlar eficazmente el exoesqueleto de una manera no comprendida previamente.

**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo de exoesqueleto configurado para acoplarse a una persona (109), comprendiendo el dispositivo de exoesqueleto:

5 una conexión de tronco (110) configurada para acoplarse al tronco de la persona (109),  
 al menos una conexión de pierna (112) configurada para acoplarse a la pierna (124) de la persona (109),  
 al menos una articulación de exoesqueleto (145, 150, 160),  
 al menos un actuador (125) acoplado a la al menos una articulación de exoesqueleto (145, 150, 160) y configurado  
 10 para mover la al menos una articulación de exoesqueleto (145, 150, 160),  
 una pluralidad de sensores configurados para medir al menos uno de un ángulo y las fuerzas de al menos una  
 articulación del exoesqueleto (145, 150, 160), y  
 un controlador (120) configurado para recibir señales de la pluralidad de sensores, y controlar el al menos un  
 actuador (125) para ayudar a que la persona (109) camine o se mueva,

15 en donde dicho controlador (120) está configurado, además, para estimar al menos un valor de retroalimentación lista  
 en función de las señales de la pluralidad de sensores, en donde el valor de retroalimentación lista se selecciona del  
 grupo que consiste en:

- 20 a. el nivel de asistencia proporcionado por la al menos una articulación del exoesqueleto (145, 150, 160), y  
 b. el par en la al menos una articulación del exoesqueleto (145, 150, 160),

en donde el dispositivo de exoesqueleto comprende, además, al menos un sistema de retroalimentación operado por  
 el controlador (120) y configurado para comunicar el valor de retroalimentación lista a la persona (109), mediante lo  
 25 cual el dispositivo de exoesqueleto proporciona a la persona (109) información operativa del dispositivo de  
 exoesqueleto que de otro modo no estaría disponible para la persona (109), caracterizado por que:  
 el sistema de retroalimentación incluye al menos una luz próxima a la al menos una articulación del exoesqueleto (145,  
 150, 160), indicando la al menos una luz el nivel de asistencia proporcionado por la al menos una articulación del  
 exoesqueleto (145, 150, 160) o el par en la al menos una articulación del exoesqueleto (145, 150, 160).

30 2. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde la al menos una luz incluye una pluralidad de luces, y el número de  
 luces iluminadas es proporcional al par en la al menos una junta de exoesqueleto (145, 150, 160).

35 3. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde la pluralidad de sensores incluye, además, un sensor de fuerza  
 ubicado en un punto de interfaz, y el sistema de retroalimentación incluye al menos una luz correspondiente al punto  
 de interfaz, indicando la luz la fuerza detectada en ese punto de interfaz.

40 4. El dispositivo de la reivindicación 3, en donde la al menos una luz incluye una pluralidad de luces, y el número de  
 luces iluminadas es proporcional a la fuerza detectada en ese punto de interfaz.

5. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el sistema de retroalimentación incluye, además, al menos un láser  
 montado en el dispositivo de exoesqueleto con al menos un actuador de retroalimentación, estando el actuador de  
 retroalimentación controlado por el controlador (120) para apuntar a una ubicación en la superficie de apoyo.

45 6. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el sistema de retroalimentación incluye, además, al menos uno de:

- una pantalla montada en el campo de visión de la persona (109), superponiendo la pantalla gráficos de modo que  
 los gráficos indiquen ubicaciones en la superficie de apoyo;  
 al menos un actuador de retroalimentación y un punto de contacto táctil en contacto con la persona (109) y  
 50 configurado para ser movido por el actuador de retroalimentación, y estando el actuador de retroalimentación  
 controlado por el controlador (120) para transmitir información a la persona (109);  
 una pluralidad de actuadores vibratorios controlados por el controlador (120);  
 una malla térmica controlada por el controlador (120);  
 un altavoz, controlando el controlador (120) al menos un parámetro del grupo de volumen, frecuencia, índice de  
 55 clics del altavoz, y controlando el controlador (120) el al menos un parámetro para transmitir información a la  
 persona (109); y  
 un actuador vibratorio, estando acoplado el sistema de retroalimentación a un recurso de ayuda para caminar  
 utilizado por la persona (109), mediante lo cual el controlador (120) transmite información a la persona (109) a  
 través del actuador vibratorio.

60 7. Un método para operar un dispositivo de exoesqueleto que incluye una conexión de tronco (110) configurada para  
 acoplarse al tronco de una persona (109), al menos una conexión de pierna (112) configurada para acoplarse a una  
 pierna (124) de la persona (109), al menos una articulación de exoesqueleto (145, 150, 160), al menos un actuador  
 (125) acoplado a la al menos una articulación de exoesqueleto (145, 150, 160) y configurado para mover la al menos  
 65 una articulación de exoesqueleto (145, 150, 160), una pluralidad de sensores configurados para medir al menos uno  
 de un ángulo y las fuerzas de la al menos una articulación del exoesqueleto (145, 150, 160), y un sistema de

retroalimentación configurado para comunicarse con la persona (109), comprendiendo dicho método:

controlar, con un controlador (20), el al menos un actuador (125) para ayudar a que la persona (109) camine, seleccionando al menos un valor listo para la retroalimentación del grupo que consiste en:

- 5
- a. el nivel de asistencia proporcionado por la al menos una articulación del exoesqueleto (145, 150, 160), y
  - b. el par en la al menos una articulación del exoesqueleto (145, 150, 160), estimando el al menos un valor listo para la retroalimentación en función de las señales de la pluralidad de sensores, y

10 comunicando el valor listo para la retroalimentación a la persona (109) con el sistema de retroalimentación con el fin de proporcionar a la persona (109) información operativa del dispositivo de exoesqueleto que de otro modo no estaría disponible para la persona (109); y caracterizado por que:  
el sistema de retroalimentación incluye al menos una luz próxima a la al menos una articulación del exoesqueleto (145, 150, 160), comprendiendo también dicho método: la al menos una luz que indica el nivel de asistencia proporcionado por la al menos una articulación del exoesqueleto (145, 150, 160) o el par en la al menos una articulación del exoesqueleto (145, 150, 160).

20 8. El método de la reivindicación 7, en donde la al menos una luz incluye una pluralidad de luces, comprendiendo también dicho método: iluminar un número de la pluralidad de luces proporcional a un par en la al menos una articulación del exoesqueleto (145, 150, 160).

25 9. El método de la reivindicación 7, en donde la pluralidad de sensores incluye, además, un sensor de fuerza ubicado en un punto de interfaz, y el sistema de retroalimentación incluye al menos una luz correspondiente al punto de interfaz, comprendiendo también dicho método: indicar una fuerza, detectada en el punto de interfaz, con la al menos una luz.

10. El método de la reivindicación 9, en donde la al menos una luz incluye una pluralidad de luces, comprendiendo también dicho método: iluminar un número de la pluralidad de luces proporcional a la fuerza detectada en el punto de interfaz.

30 11. El método de la reivindicación 7, en donde el sistema de retroalimentación incluye, además, al menos uno de:  
al menos un láser montado en el dispositivo de exoesqueleto, comprendiendo también dicho método: apuntar el al menos un láser hacia una ubicación en la superficie de apoyo;  
35 una pantalla montada en un campo de visión de la persona (109), comprendiendo también dicho método: superponer los gráficos de modo que los gráficos indiquen ubicaciones en la superficie de apoyo;  
al menos un actuador de retroalimentación y un punto de contacto táctil en contacto con la persona (109) y configurado para ser movido por el al menos un actuador de retroalimentación, comprendiendo también dicho método: transmitir información a la persona (109) moviendo el punto de contacto táctil;  
40 una pluralidad de actuadores vibratorios, incluyendo dicho método controlar la pluralidad de actuadores vibratorios como parte del sistema de retroalimentación;  
una malla térmica, incluyendo dicho método controlar la malla térmica como parte del sistema de retroalimentación;  
y  
un altavoz, comprendiendo también dicho método: variar al menos un parámetro, seleccionado del grupo que consiste en volumen, frecuencia e índice de clics del altavoz, para transmitir información a la persona (109).

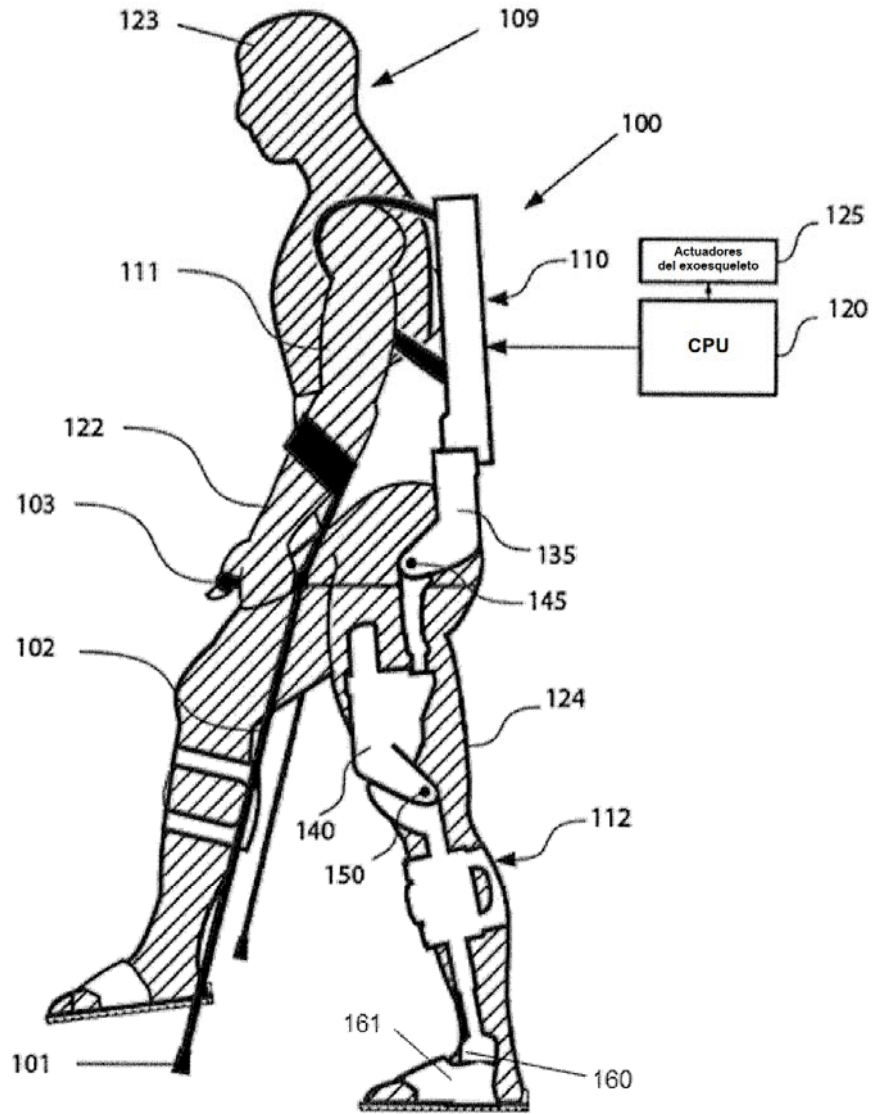


Figura 1

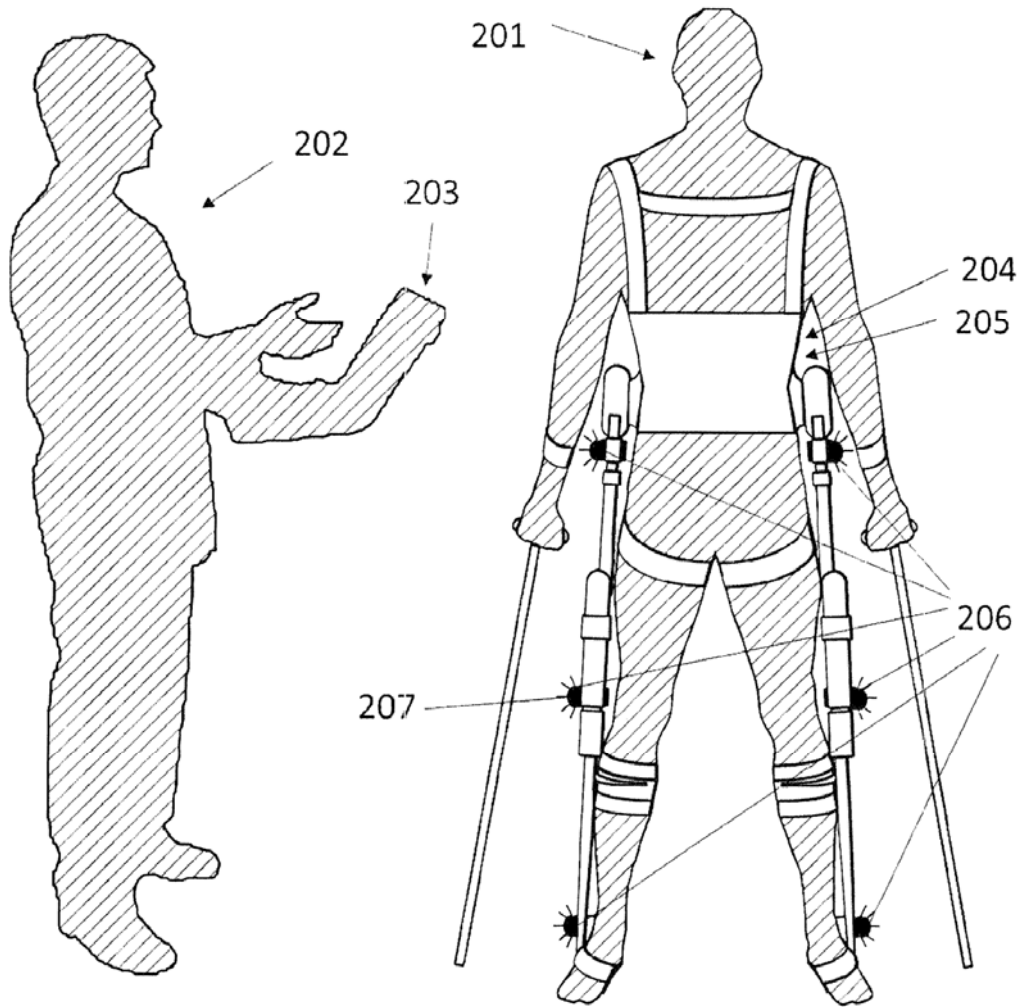
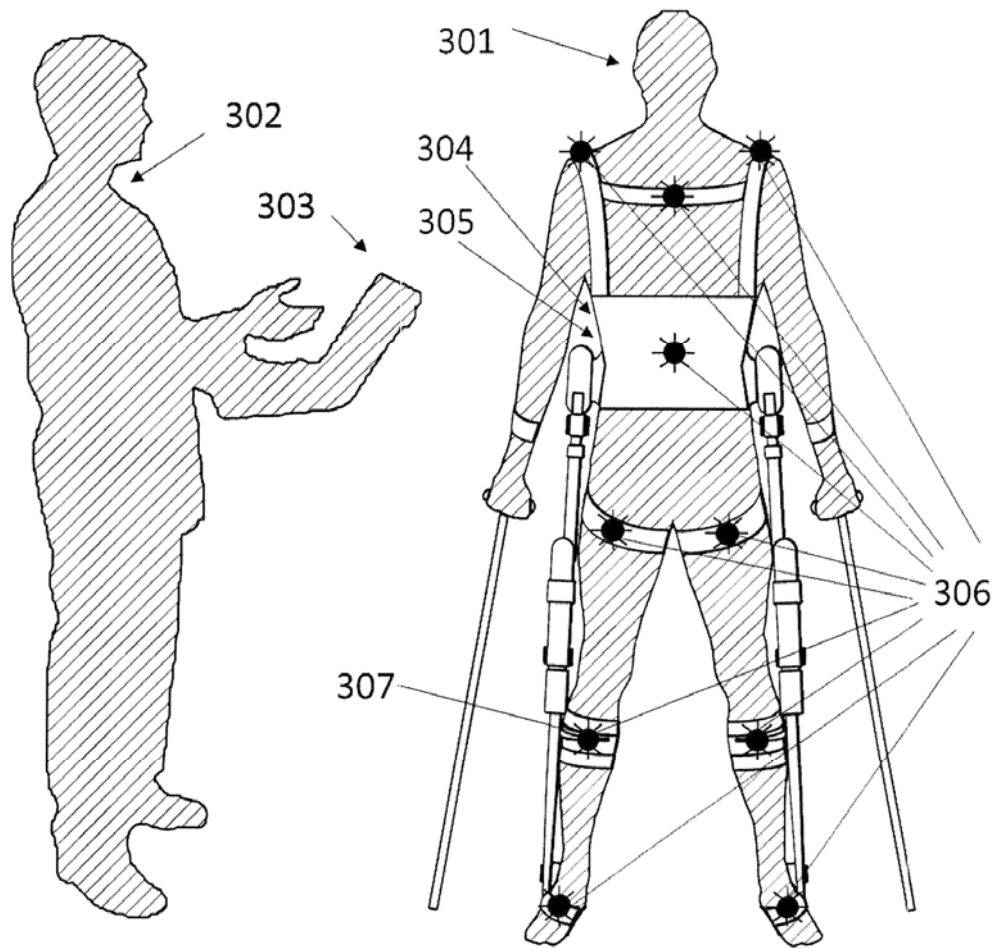


Figura 2



**Figura 3**

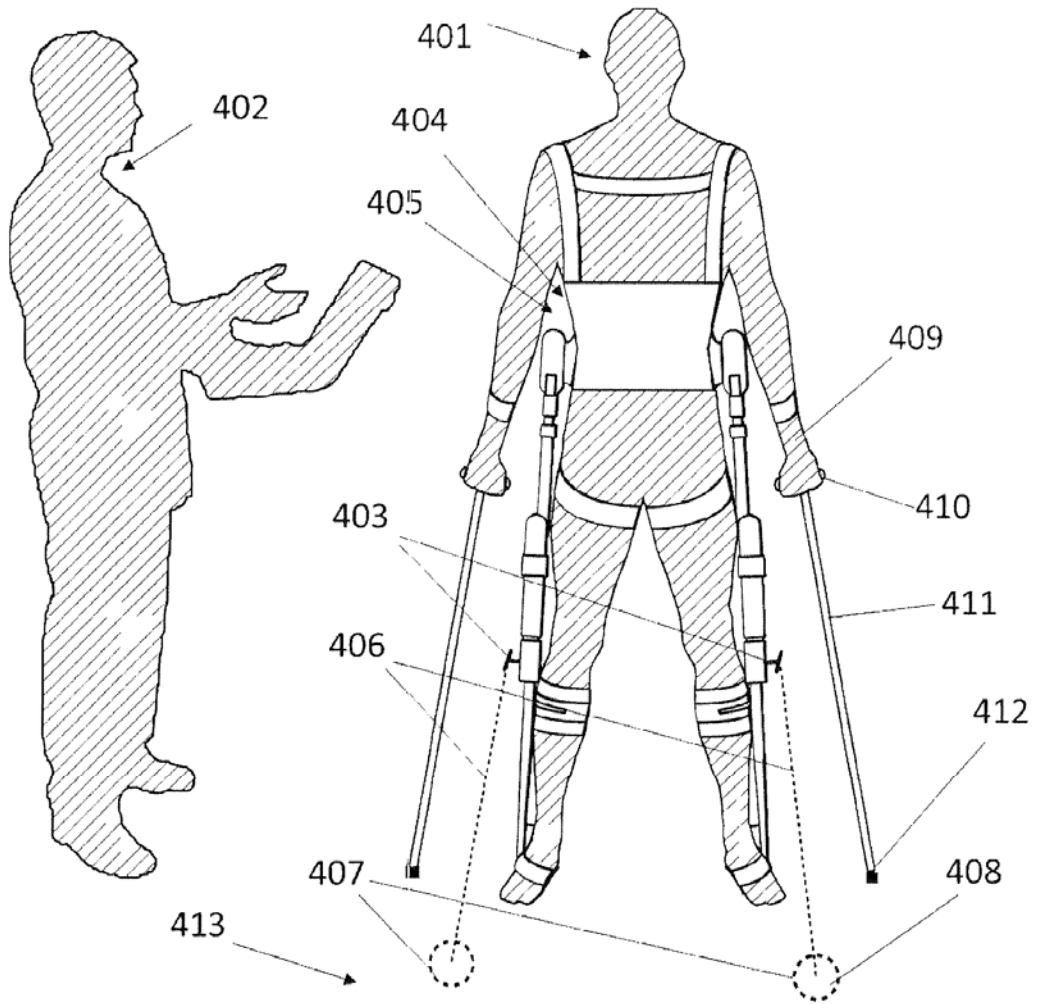


Figura 4

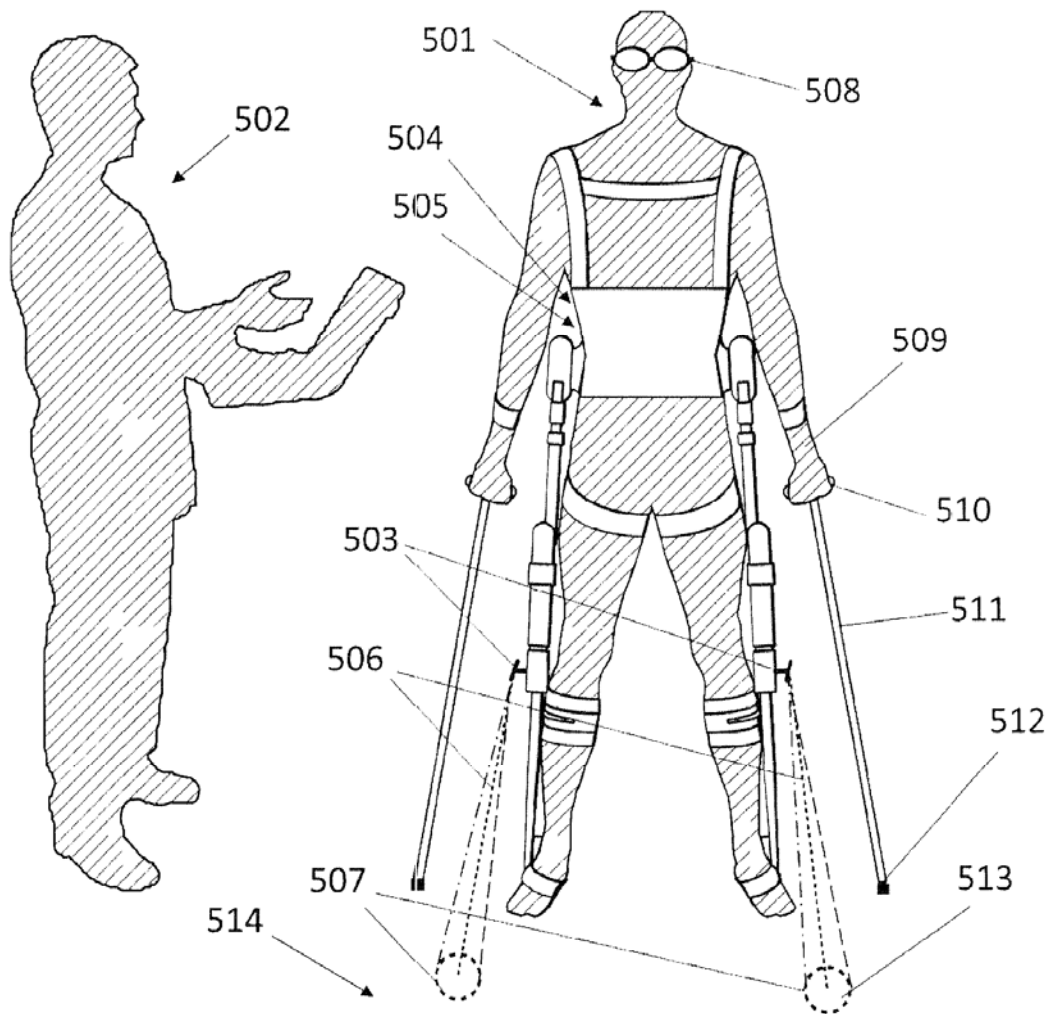


Figura 5

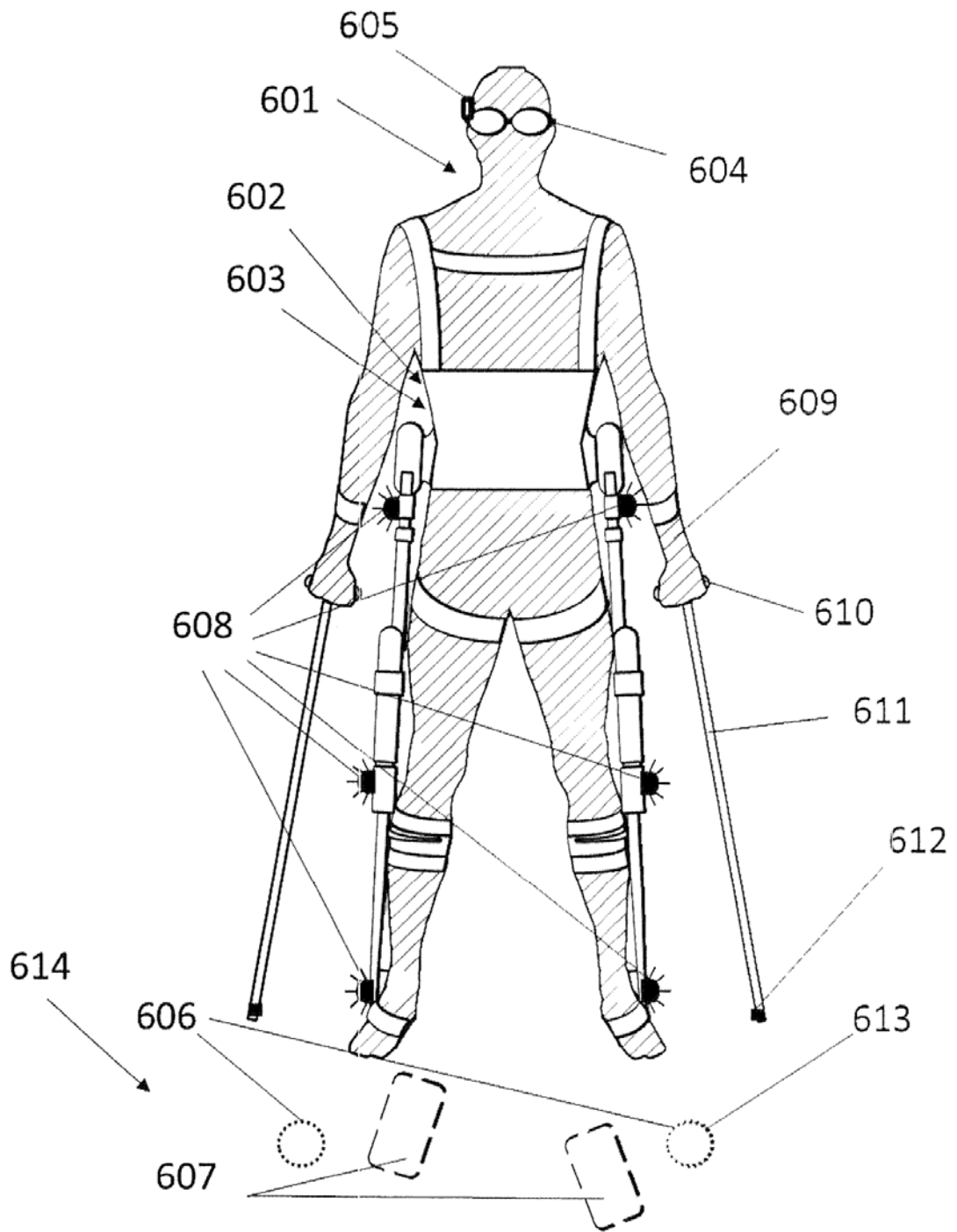
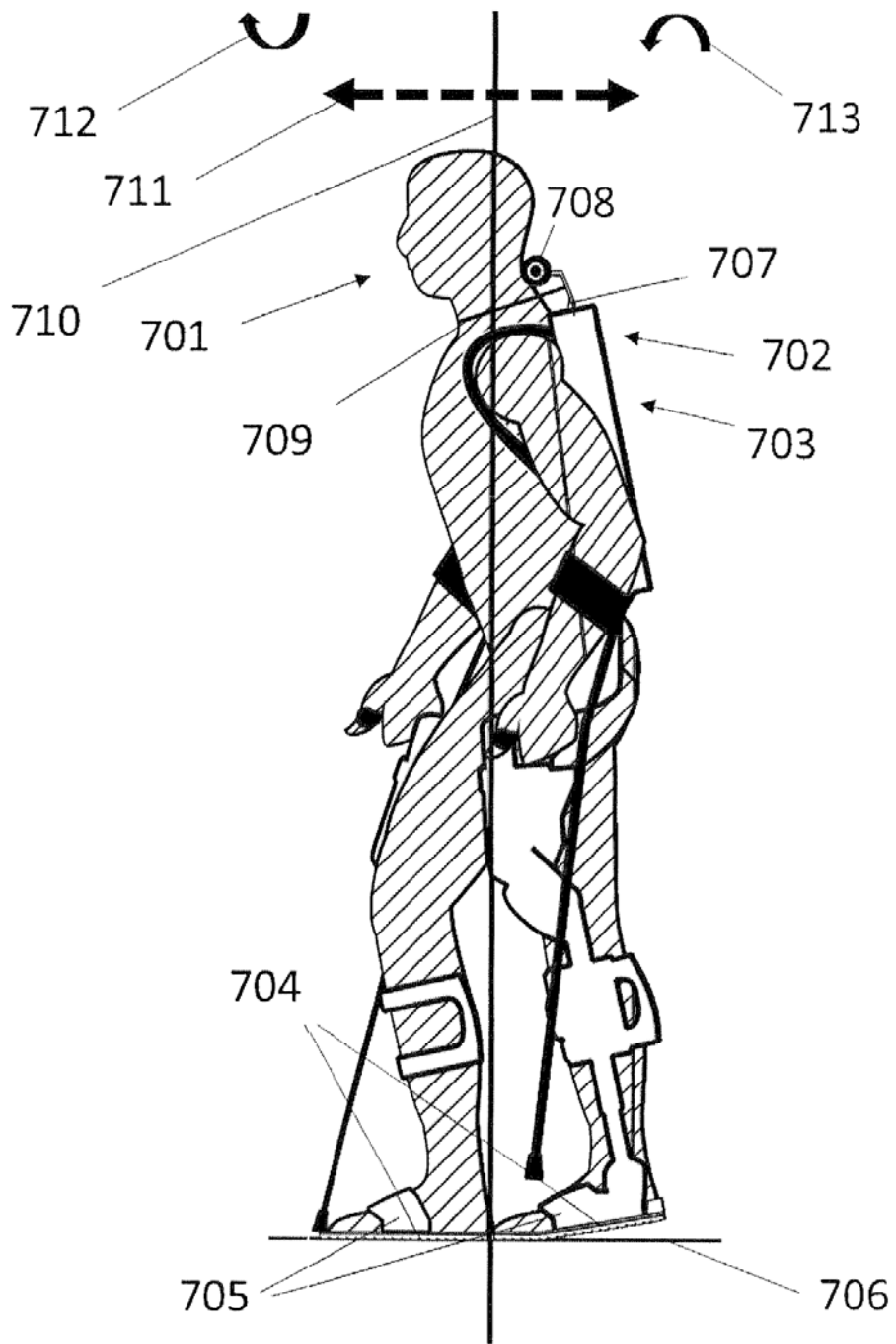
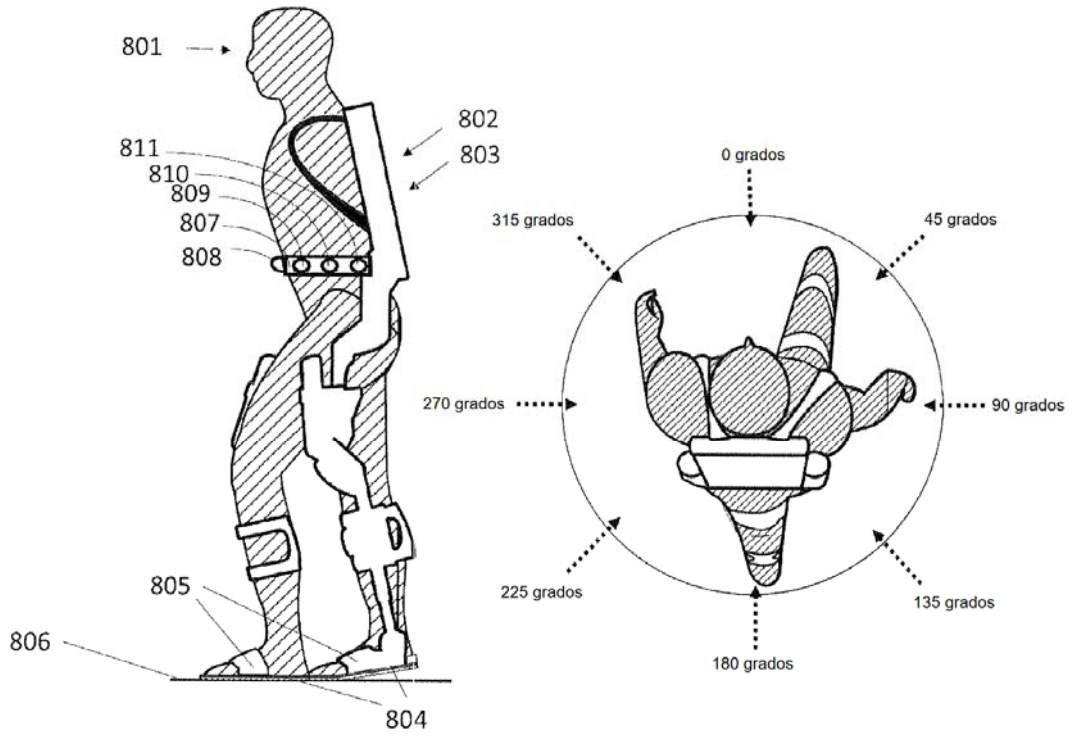


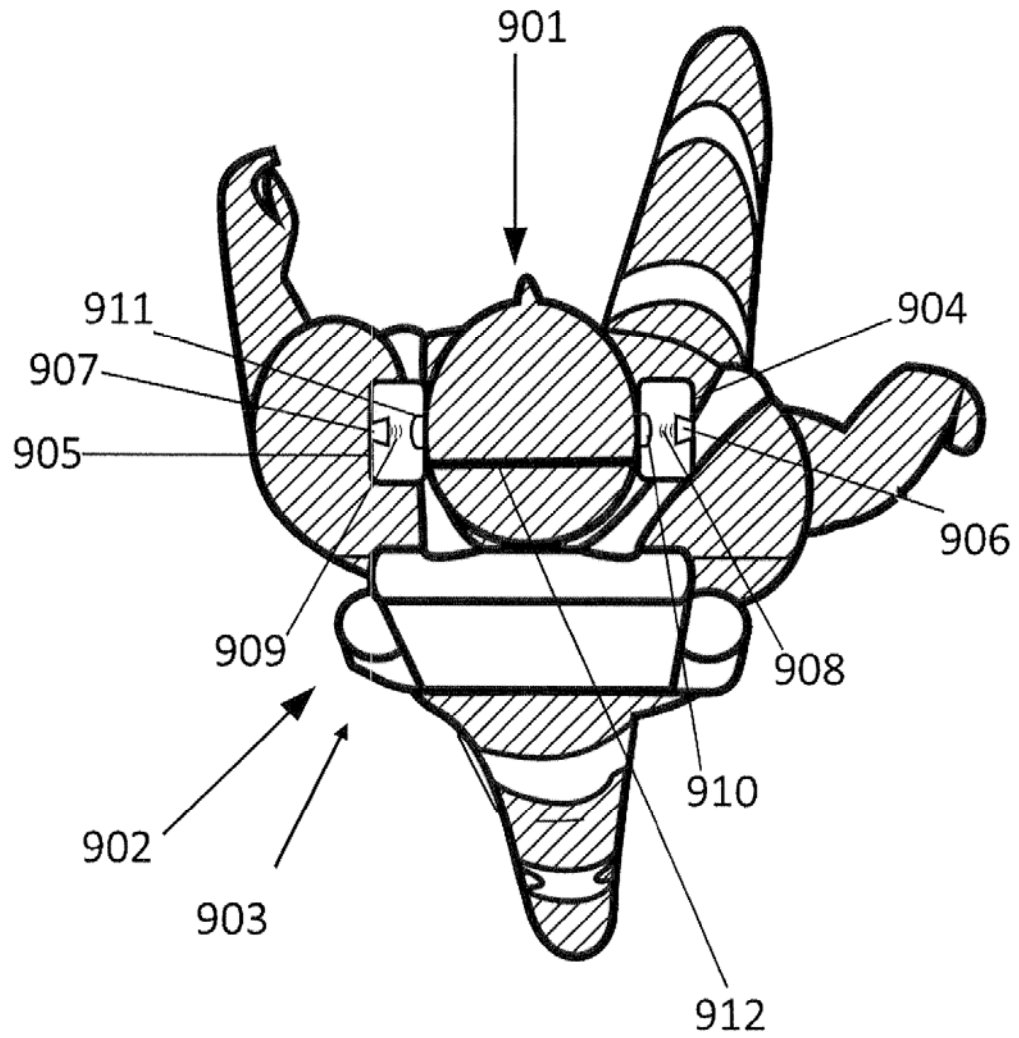
Figura 6



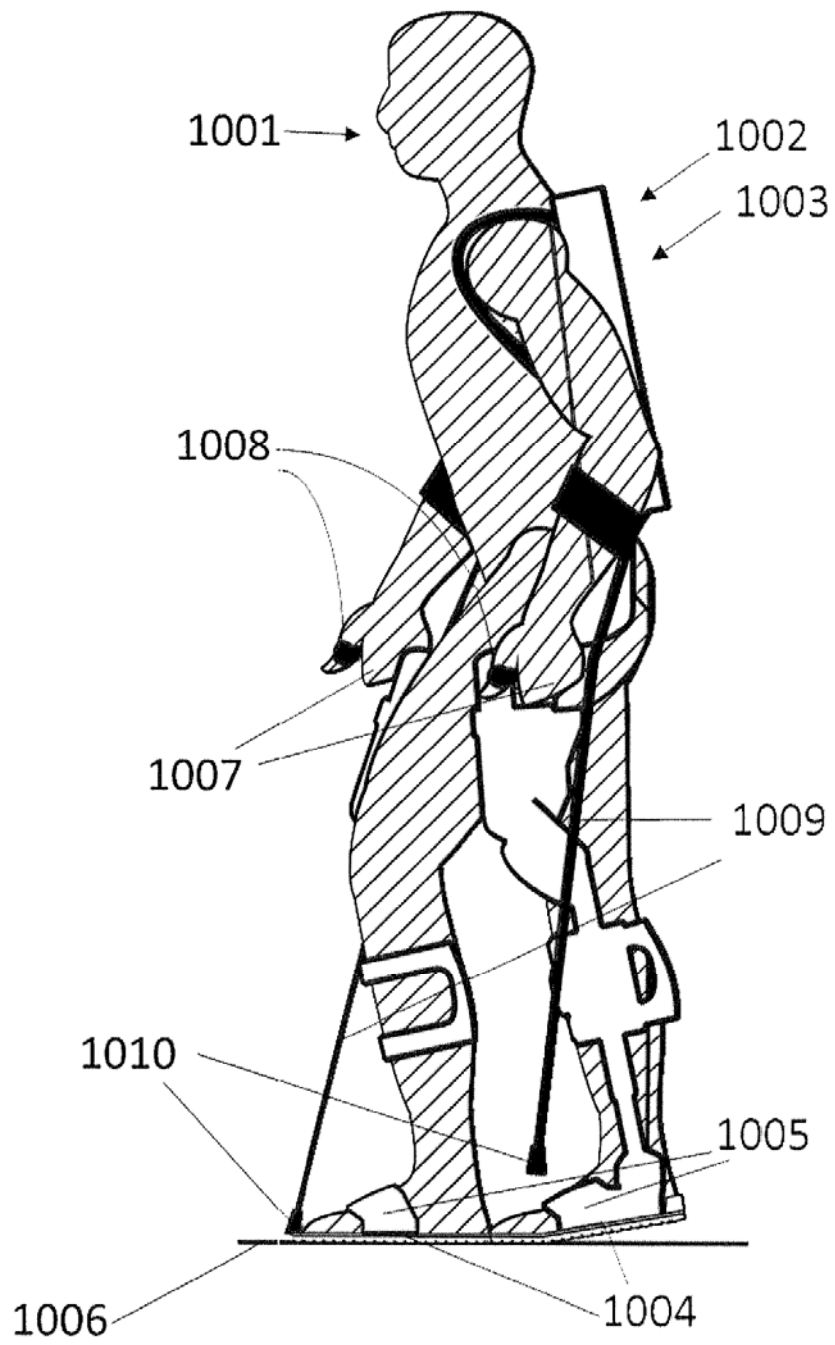
**Figura 7**



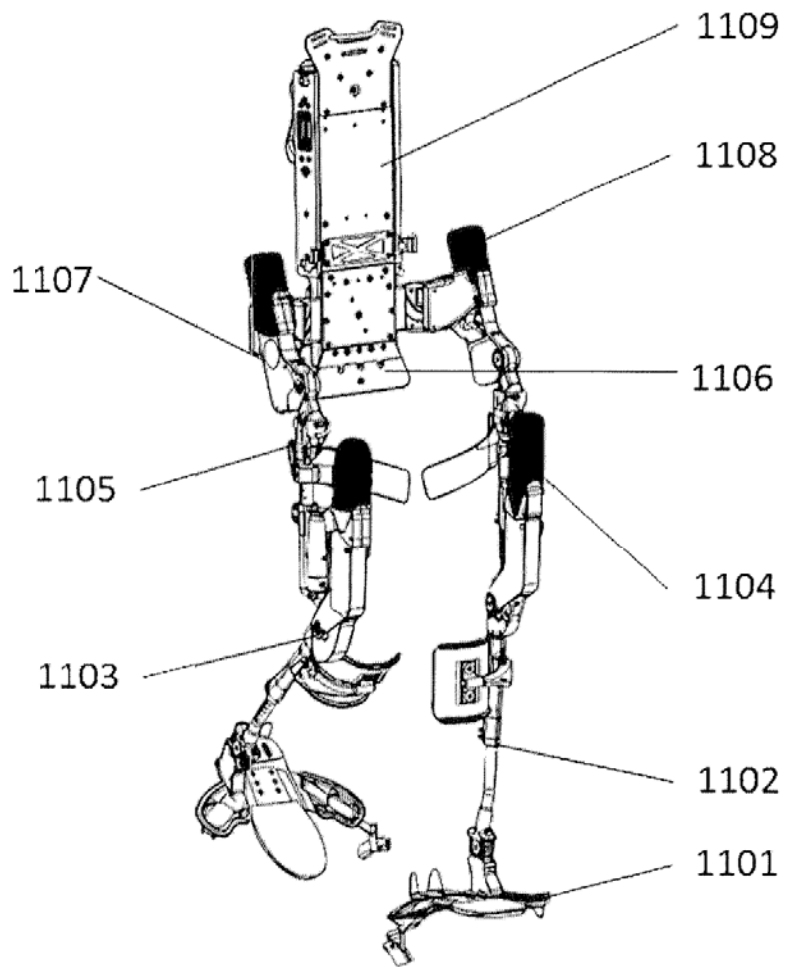
**Figura 8**



**Figura 9**



**Figura 10**



**Figura 11**

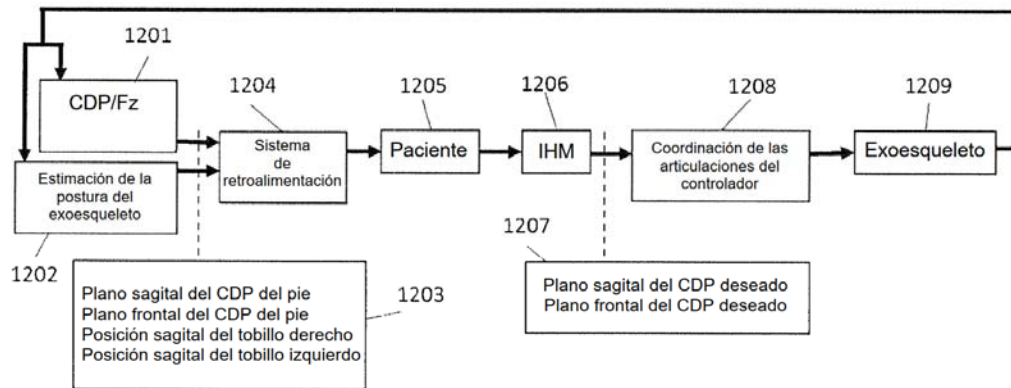


Figura 12