

SISTEMA ROBÓTICO VESTIBLE INTELIGENTE MULTISENSOR COMANDADO POR VOZ PARA LA ASISTENCIA AL MOVIMIENTO Y REHABILITACIÓN AUTÓNOMA DEL SEGMENTO DEL BRAZO Y EL ANTEBRAZO

DESCRIPCIÓN

CAMPO DE LA INVENCION

La invención combina diferentes características novedosas que no se encuentran registradas como un único sistema integral para la realización de las actividades descritas, superando de manera funcional soluciones ya existentes en el área de la rehabilitación motora y la inteligencia artificial. Se hace hincapié en que la invención se centra en el uso de nuevos métodos y herramientas de ingeniería, en los que intervienen sistemas mecánicos, electrónicos y computacionales, lo que aporta ventajas en ámbitos como la medicina, las ciencias de la salud y la fisioterapia, sin desconocer otras posibles aplicaciones como sistema de entrenamiento y reacondicionamiento físico e interfaz háptica.

En general, la integración de un exoesqueleto robótico y una plataforma de captura de señales biológicas es de gran interés científico, comercial e industrial, resaltando las contribuciones en áreas como el procesamiento digital de señales y control automático, y el desarrollo de algoritmos computacionales robustos basados en inteligencia artificial y algoritmos computacionales adaptativos enfocados a dar soporte para la realización de una evaluación objetiva, comprehensiva y autónoma de los pacientes. De hecho, la invención desarrolla tecnología de vanguardia médica enfocada en la rehabilitación neuromotora de miembro superior, donde el núcleo central se da en la proposición de un método de integración de diferentes tipos de tecnologías (fusión de bioseñales y parámetros cinemáticos), basado en algoritmos computacionales adaptativos. Este nuevo método incluye el exoesqueleto robótico como un sistema integrado, adquisición de datos y técnicas de control soportados por algoritmos computacionales inteligentes, resultando en una nueva generación de tecnología de asistencia enfocada en la rehabilitación de las extremidades superiores.

OBJETO DE LA INVENCION

Con nuevos adelantos en materia de inteligencia computacional en diferentes áreas involucradas en esta invención permite ofrecer novedosas ventajas como la selección del programa de

entrenamiento de rehabilitación más apropiado y la optimización de los parámetros de la sesión de terapia física de acuerdo con los diferentes tipos y estados del paciente. Se enfatiza que el uso de algoritmos computacionales adaptativos y técnicas informáticas avanzadas como la Inteligencia Artificial es uno de los pilares centrales y punto diferenciador de esta invención, ya que permite desarrollar una arquitectura de control compleja y robusta capaz de empezar a resolver los mayores retos de control que se presentan con las técnicas más tradicionales. Entre las técnicas más utilizadas se encuentran varias configuraciones de Redes Neuronales Artificiales que permiten la detección de patrones, el análisis de la intención de movimiento, entre otras técnicas de vanguardia.

Se resalta que la inclusión de estos pilares clave dan a la invención su carácter diferenciador, donde se busca un nuevo método de integración para dar soporte a procesos autónomos de rehabilitación física y no solamente el desarrollo de tecnologías asistivas. Se denota que no existe un gran número de propuestas que aborden específicamente el uso de algoritmos computacionales adaptativos, fusión de señales bioeléctricas y rehabilitación del miembro superior. La mayoría de las propuestas se enfocan en el diseño de hardware o software, sin incluir técnicas de control inteligentes y la fusión de numerosos parámetros provenientes de toda la colección de sensores integrados en el sistema.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Independientemente de la región geográfica y la condición clínica adyacente a la discapacidad, los programas de rehabilitación en centros de salud, centros de terapia ocupacional o de fisioterapia han aumentado su interés en el uso de dispositivos robóticos para lograr una mejor recuperación de la función motora en pacientes con diversas discapacidades neuromotoras. Además, es materia de interés científico la proposición de nuevos métodos de asistencia a procesos de rehabilitación, no solo enfocados a resolver los problemas técnicos actuales, sino brindar mejores soluciones que puedan ser aplicadas en pacientes, de la mano de hospitales, redes de atención médica y centros de rehabilitación física especializados.

De esta manera, la patente de EE.UU No. PCT/US2017/050922 del año 2017 reclama métodos que conforman un exoesqueleto robótico de miembro superior que incluye una pluralidad de actuadores rotativos, un actuador lineal, una pluralidad de sensores y una unidad de control robótico, la cual está configurada para permitir que el dispositivo robótico de rehabilitación del miembro superior se ajuste al movimiento del miembro superior de un usuario al recibir señales de la pluralidad de sensores que indican el movimiento normal del miembro superior del usuario,

activando una pluralidad de actuadores para proporcionar un movimiento articulado del dispositivo robótico.

La patente de China No. 205459684 del año 2016, registra un modelo de utilidad que se relaciona con un brazo robótico de entrenamiento de rehabilitación que pertenece al campo técnico de instrumentos médicos. El modelo de utilidad proporciona una estructura simple y completa, que provee la facilidad de procesamiento de la función de entrenamiento, adoptando dos estructuras con una conexión de volante, donde se resuelve el problema del difícil control del grado de libertad del hombro, resultando conveniente, fácil de popularizar y aplicar.

La patente de China No. 107224385 del año 2019 revela un robot de rehabilitación de miembros superiores con dos brazos tipo activos-pasivos, perteneciente al campo de los robots de rehabilitación. Comprende un dispositivo de entrenamiento activo de miembros superiores, un dispositivo de entrenamiento pasivo de miembros superiores, brazos de viga y un pedestal. Comprende un conjunto de movimientos de abducción y aducción de la articulación del hombro, un conjunto de flexión y extensión de la articulación del hombro, un conjunto de intorsión y extorsión activa del brazo, un conjunto de flexión y extensión del codo, un conjunto de intorsión y extorsión activa del antebrazo y un conjunto de flexión y extensión activa de la articulación de la muñeca. Según el invento, se pueden lograr movimientos de una pluralidad de articulaciones en una pluralidad de dimensiones, y el robot de rehabilitación del miembro superior puede ayudar al paciente a ejercitarse según su propio deseo.

La patente de China No. 110279560 de 2019 presenta un robot de rehabilitación para controlar los miembros inferiores mediante el uso de los miembros superiores contralaterales. El robot de rehabilitación consta de un cuerpo de cremallera, una articulación robótica de los miembros superiores e inferiores, un dispositivo de accionamiento, un conjunto de sensores y un dispositivo de control, en el que la articulación robótica de los miembros superiores se monta de forma móvil en el cuerpo de cremallera vinculado a los miembros superiores para que se mueva de forma sincronizada. El conjunto sensorial detecta un valor de gesto de la articulación biónica de los miembros superiores; y el dispositivo de control controla el dispositivo de accionamiento para que trabaje de acuerdo con el valor de gesto medido por el conjunto sensorial, de modo que la articulación biónica de los miembros superiores y la articulación biónica de los miembros inferiores se muevan de forma sincronizada.

La patente de Corea No. 1020130034896 del año 2013 detalla sobre un sistema de entrenamiento de rehabilitación de miembros superiores de tipo activo basado en retroalimentación electromiográfica para ser controlado por una señal electromiográfica (EMG) de un miembro superior que permite realizar la función de flexión/extensión de una articulación del codo en un grado de libertad de 0 a 120 grados. Posee una unidad de control que obtiene y genera una señal de control del motor basado en la señal EMG detectada en el tríceps de la parte superior del brazo.

La patente de China No. 104173124 de 2014 reivindica un sistema de rehabilitación de miembros superiores basado en señales biológicas. El sistema de rehabilitación se caracteriza por la fijación de un casquete eléctrico cerebral, la extracción y clasificación secuencial de las señales eléctricas cerebrales a través de un algoritmo de extracción de características y un clasificador con un algoritmo de clasificación adaptativo LDA, después de que las señales eléctricas cerebrales se amplifiquen, filtren y reduzcan el ruido, las señales eléctricas del cerebro se traducen en instrucciones de accionamiento utilizadas para controlar el equipo motor de accionamiento y el equipo auxiliar de tendones neumáticos, y por lo tanto se acciona un brazo mecánico para realizar el ejercicio de rehabilitación. El personal de trabajo supervisa a distancia el movimiento y los estados de rehabilitación de los pacientes a través del terminal móvil, y los pacientes también pueden invocar juegos de rehabilitación en una plataforma de visualización a través de un dispositivo de entrada y salida de voz para realizar el entrenamiento de rehabilitación auxiliar. En consecuencia, el sistema de rehabilitación de los miembros superiores basado en las señales biológicas mejora la eficacia del entrenamiento de los pacientes y garantiza simultáneamente la seguridad y la estabilidad del entrenamiento.

La patente de México No. 2017011947 del año 2019, así como la patente de India No. 201714031332 del año 2017 reivindican un equipo de rehabilitación motora compacto y portátil que actúa sobre las extremidades superiores e inferiores de un paciente, permitiendo la ejecución de movimientos y ejercicios con una trayectoria curvilínea en el espacio tridimensional. Incluye como punto característico al menos un controlador para los motores, un software de realidad virtual y/o aumentada, un sistema de gestión y control configurado para recibir información del software de realidad virtual y/o aumentada y para controlar el brazo robótico, y una pantalla, o cualquier otro medio adecuado configurado para mostrar el software de realidad virtual y/o aumentada al paciente.

La patente de Corea No. 1020150059266 del año 2015 presenta una invención que se relaciona con un brazo robótico para personas gravemente discapacitadas, que comprende una parte de

control que se instala en la parte inferior de un reposabrazos de una silla de ruedas eléctrica; un primer brazo que se instala en el extremo superior de la parte de control y sustituye a un reposabrazos de la silla de ruedas eléctrica.

La patente de India No. 201611009446 del año 2017 registra el desarrollo de un dispositivo que puede ser usado para medir la postura y el movimiento de la mano humana mientras se realiza una tarea específica. Esta medida puede utilizarse para controlar a un manipulador esclavo basado en el análisis de la mímica de un cirujano (en caso de cirugía tele-robótica) o para el entrenamiento a través de cirugía virtual (para imitar los movimientos de un cirujano experto) o para la rehabilitación/evaluación de la coordinación mano-brazo de un paciente (incluyendo niños) con desorden de movimiento de las extremidades superiores o un amputado de extremidades superiores que lleva una prótesis o para la generación de datos para cualquier tarea especializada/profesional.

La patente de Malasia No. PI 2014701297 del año 2015 registra una invención que se relaciona con un sistema robótico de rehabilitación para tratar un miembro inferior o superior dañado de un paciente con apoplejía. El sistema robótico de rehabilitación funciona en tres modos de entrenamiento que incluyen un modo pasivo, un modo de asistencia y un modo activo. El sistema robótico de rehabilitación consta de una base, una plataforma, un dispositivo robótico, un dispositivo informático y un dispositivo de vigilancia. El montaje de la base, la plataforma y el dispositivo robótico es modular para permitir diferentes configuraciones del sistema robótico de rehabilitación para diferentes movimientos de entrenamiento.

Por último, en cuanto a registros que detallen sobre el uso de sistemas comandados o actuados por voz, se encuentra como ejemplar la patente registrada en China No. 102008385 de 2011 que reivindica métodos relacionados con un sistema de entrenamiento y rehabilitación de la función de los miembros superiores basado en el control de señales de voz, que comprende un módulo de control principal, un módulo de movimiento pasivo continuo (MPC), un módulo de voz y un panel de control. El usuario selecciona un modo de funcionamiento mediante la voz en virtud del panel de control, se envía el comando de voz y se transmite al módulo de voz en virtud de un micrófono, el módulo de voz recibe y analiza el comando de voz, luego el comando de voz se hace coincidir con una solicitud de comando de control relacionada, y luego el módulo de control principal convierte la solicitud en el comando de control correspondiente, impulsando así el movimiento del miembro superior de un paciente.

En conclusión, esta invención presenta por una estructura mecánica rígida, liviana y resistente, sobre la cual se soporta el miembro superior, segmentos brazo y antebrazo, y se sujeta al mismo con correas y que permite la rehabilitación motora y la asistencia del movimiento de miembros superiores. Posee una tela especial sobre la cual se implementan como mínimo un sensor electromiográfico superficial (sEMG), un sensor de electrocardiografía (ECG), un sensor de electroencefalografía (EEG), sensores de presión, sensores de vibración, sensor de temperatura y un sensor de respuesta galvánica superficial de la piel (GSR), y un micrófono. Para su activación mecánica, posee elementos de acople a un sistema de actuación con servomotor, y circuitos integrados de control que permiten toda la gestión electrónica del sistema.

Finalmente, y ahondando en los desarrollos tecnológicos enfocados en rehabilitación existentes en la actualidad, en la revisión del estado del arte enfocada en las técnicas de inteligencia computacional para tecnología de rehabilitación activa, se muestra que: “el objetivo de la investigación futura en el área es desarrollar exoesqueletos que se adapten automáticamente al entorno o ajustes del usuario y aprendan de los errores así como de la experiencia del usuario.”, lo que muestra la necesidad de crear métodos de integración entre sistemas inteligentes y hardware especializado que cubra de una forma global y más completa las necesidades de los usuarios, algo que en la actualidad es escaso. Aunque algunos trabajos han sido exitosos en el uso de sistemas inteligentes de control, las investigaciones futuras deben orientarse a “la clasificación de las diferentes tareas y la definición de estrategias de control específicas” por medio de técnicas de control basadas en inteligencia artificial, lo cual aún no se ha explorado ni desarrollado masivamente.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La invención detalla un sistema robótico, exoesquelético, actuado eléctricamente, no invasivo y vestible, el cual permite la rehabilitación motora y la asistencia del movimiento de miembros superiores. El sistema entre otras cosas permite la aplicación de rutinas orientadas a la recuperación de los diferentes movimientos del brazo en personas que poseen, por ejemplo, patologías neuromotoras que les impiden el desarrollo de actividades de la vida diaria, pacientes en procesos de fisioterapia, personas en entrenamiento deportivo, entre otros. Este sistema es de naturaleza inalámbrica, compacto, liviano y portátil. La estructura que conforma el sistema se adhiere específicamente al segmento del brazo y el antebrazo a través de correas de sujeción con el fin de que su posición inicial no cambie con el movimiento de los segmentos corporales,

permitiendo la movilidad de múltiples grados de libertad sin necesidad de apoyarse en una estructura fija. Este sistema:

A) tiene capacidades de evaluación multiparamétrica para determinar las necesidades específicas del usuario dentro o fuera de un entorno de laboratorio usando sistemas de control y procesamiento de información inteligentes y adaptativos;

B) recolecta en tiempo real señales biológicas a través de múltiples sensores, de naturaleza digital o analógica, incluyendo como mínimo un sensor electromiográfico superficial (sEMG), un sensor de electrocardiografía (ECG), un sensor de electroencefalografía (EEG), sensores de presión, sensores de vibración, sensor de temperatura y un sensor de respuesta galvánica superficial de la piel (GSR);

C) procesa en tiempo real la señal recibida de los sensores a través de una unidad de control intermedia dedicada a periféricos;

D) procesa a bordo la información completa de sus propios subsistemas, así como la lógica de control, los sistemas de activación y desactivación y los mecanismos de seguridad a través de un sistema microcomputarizado integrado;

E) funciona de manera autónoma con alimentación por batería de larga duración y recargable, monitoreada activamente y en tiempo real a través del sistema de procesamiento a bordo para garantizar su seguridad;

F) tiene un sistema de accionamiento mecánico basado en un servomotor, con acoplamiento y engranajes mecánicos;

G) opera sin la necesidad de un sistema de cómputo adicional, comunicándose inalámbricamente por medio de señales de radiofrecuencia con diferentes protocolos de comunicación, posibilitando la transmisión de la información en tiempo real a través de internet o red local;

H) posibilita opcionalmente la monitorización externa y remota de los procesos del sistema mediante una interfaz gráfica y un panel de control en software sobre otros sistemas de cómputo;

I) suministra información de alta prioridad a través de una pantalla integrada físicamente en la estructura del sistema;

J) detecta patrones de intención de movimiento en tiempo real a través de la tensión muscular y presión de las extremidades sobre el sistema, con recolección por medio los sensores de presión, vibración y flexión;

K) detecta patrones de fatiga muscular, cansancio físico y cansancio mental en los pacientes, según la respuesta del coprocesador neuronal integrado NPU, buscando en tiempo real factores de riesgo preexistentes del usuario del sistema;

L) permite la aplicación de rutinas de movimiento que pueden establecerse sobre la base de datos previamente reunidos, así como de la información multiparamétrica recolectada, actualizado en tiempo real para cada usuario;

M) evalúa el resultado de la aplicación de las rutinas de movimiento de forma cuantitativa a nivel de las articulaciones del brazo y su progreso en el tiempo;

N) puede recolectar información de movimiento a través de un sistema de captura de movimiento basado en una pluralidad sensores inerciales y magnéticos a bordo del sistema robótico, montado en la estructura física, permitiendo la recolección precisa de información mecánica en tiempo real durante la aplicación de las rutinas de movimiento;

O) a través de un sistema de captura de movimiento basado en una pluralidad de sensores inerciales y magnéticos externos e inalámbricos el exoesqueleto imita o reproduce la información biomecánica del movimiento de la extremidad superior funcional (extremidad sana) del propio usuario o una tercera persona,

P) implementa métodos de control que habilitan diversos modos de acción y activación, permitiendo, por ejemplo, un funcionamiento del sistema robótico de modo automático, de modo automático sincronizado directamente con el movimiento recolectado a través del sistema de captura de movimiento basado en una pluralidad de sensores inerciales y magnéticos externos, o bien, una activación asistida y guiada directamente por una tercera persona;

Q) e incorpora mecanismos de seguridad accionados por voz que permiten la activación y desactivación del sistema exoesquelético, usando un micrófono que puede ser monofónico o estereofónico implementado a través de una interfaz interna y puesto sobre la estructura del sistema robótico.

Con el propósito de apoyar la rehabilitación motora y la asistencia del movimiento, así como brindar un instrumento de asistencia al diagnóstico de lesiones motoras, del sistema musculo-esquelético y neuromotoras para miembro superior del cuerpo humano, se ha creado un sistema robótico, exoesquelético, actuado eléctricamente, no invasivo, de naturaleza inalámbrica, compacto, liviano y vestible, el cual se ha esquematizado en la FIG. 1, compuesto a nivel estructural por dos paletas semi-rígidas de soporte lateral de brazo **(102)** y dos paletas semi-rígidas de soporte lateral de antebrazo **(106)**, piezas que están sujetas en cada extremo a una estructura rígida articulada **(104)** que permite su movilidad.

Esta estructura física se sujeta, por ejemplo, en el caso humano, al lado exterior e interior del miembro superior, entre la articulación del hombro y del codo (ver la FIG. 2), apoyado con el uso de un recubrimiento ergonómico, flexible y enrollable de brazo **(200)** y de antebrazo **(300)** los cuales contienen los sensores que captan las bioseñales del paciente. La adhesión al miembro superior humano se realiza por medio de correas de sujeción de brazo **(108)** y de antebrazo **(110)** (ver la FIG. 1) las cuales son de naturaleza ajustable con graduación, de modo que la posición inicial de la estructura completa del sistema no cambie con el movimiento de los segmentos corporales, permitiendo su ajuste a múltiples dimensiones corporales (incluyendo miembros superiores en niños, jóvenes, adultos y ancianos), y la movilidad en múltiples grados de libertad, sin necesidad de apoyarse en una estructura fija (ver la FIG. 3). Adicionalmente, las piezas **(200)** y **(300)** poseen internamente bandas antideslizantes que proveen soporte de adhesión adicional al miembro superior, siendo indicadas como las piezas **(208)** y **(312)**, respectivamente.

Haciendo énfasis en la pluralidad de sensores que permiten la recolección de las bioseñales del paciente o usuario, se encuentran algunos de ellos sobre la estructura mecánica del sistema robótico, específicamente en el anverso de la estructura comprendida por las piezas **(102)** y **(106)** y otros sobre el recubrimiento ergonómico, flexible y enrollable de brazo **(200)** y de antebrazo **(300)** (ver la FIG. 4A y FIG. 4B).

En detalle y midiendo los parámetros específicos desde el segmento del brazo, sobre la estructura de la pieza **(102)**, se incluye un sensor de vibración **(112)** que permite enriquecer la información

sobre el comportamiento mecánico del sistema robótico cuando se encuentra en operación. Sobre la estructura de la pieza **(200)** (ver la FIG. 4A), se incluye un sensor de presión resistivo **(202)** que permite conocer el esfuerzo realizado por este segmento en relación a la estructura mecánica del sistema robótico, un sensor de temperatura **(204)** que monitorea al paciente en la realización de las actividades de entrenamiento y rehabilitación y un sensor de posicionamiento inercial **(206)**. Desde el segmento del antebrazo, sobre la estructura de la pieza **(106)**, se incluye un sensor de vibración **(114)** que permite enriquecer la información sobre el comportamiento mecánico del sistema robótico cuando se encuentra en operación. Sobre la estructura de la pieza **(300)** (ver la FIG. 4B), se incluye dos sensores de presión resistivos para el movimiento de flexión **(302)** y dos sensores de presión resistivos para el movimiento de extensión **(303)** que permiten la detección de patrones de intención de movimiento en tiempo real a través de la tensión muscular y presión de las extremidades sobre el sistema. También se incluye un sensor de respuesta galvánica superficial de la piel (GSR) **(304)**, un sensor electromiográfico superficial (sEMG) **(306)**, un sensor de electrocardiografía (ECG) **(308)**, y un sensor de posicionamiento inercial **(310)**, complementando la pluralidad de sensores ya descrita.

El sistema robótico tiene la capacidad de procesar en tiempo real la señal recibida de los sensores a través de una unidad de control intermedia dedicada a periféricos **(400)** la cual está sujeta y anclada internamente a la estructura rígida articulada del sistema **(104)**. En esta unidad de control intermedia **(400)** también se encuentra el sistema de accionamiento mecánico basado en un servomotor con acoplamientos y engranajes mecánicos, además de suministrar información de alta prioridad a través de una pantalla integrada **(404)**, la cual puede ser de tecnología OLED o PLED monocromática.

De una forma detallada y como se muestra en la FIG. 5, la unidad de control intermedia dedicada a periféricos **(400)** está compuesta por una carcasa rígida exterior **(402)** que protege los elementos internos de la unidad, otorgando dureza y resistencia mecánica al diseño. La pantalla integrada **(404)** suministra información de alta prioridad acerca de los procesos realizados con el sistema robótico, la cual está acoplada directamente a un procesador digital de señales **(406)** el cual recibe y procesa en tiempo real las múltiples señales de los sensores con ayuda de una tarjeta de interfaz periférica **(408)** que contiene múltiples conectores de entrada y salida de información, bien sea de naturaleza analógica o digital. Tanto el procesador digital de señales **(406)** como la tarjeta de interfaz periférica **(408)** producen las señales de activación para dar movimiento al sistema robótico, las cuales se transfieren directamente a la tarjeta electrónica de control del actuador **(410)** la cual opera el sistema de accionamiento mecánico.

El procesador digital de señales **(406)** incorporado procesa en tiempo real la señal recibida de los sensores, la cual es conformada por un soporte lógico programable de 32 bits o 64 bits, con memoria Flash integrada dentro del mismo procesador cuya capacidad de memoria puede oscilar desde 128 KiB hasta 512 KiB, capacidad de SRAM desde 16 KiB hasta 64 KiB y frecuencia de reloj superior a 40 MHz.

El sistema de accionamiento mecánico del sistema robótico está basado en un servomotor actuado eléctricamente **(412)** y produce la fuerza electromotriz necesaria para el movimiento. Este servomotor se acopla a un sistema autocontenido de engranajes **(414)** que permite dar el torque apropiado, brindando hasta 260 kg/cm, con un rango de movimientos que puede ir desde 0° a $\pm 150^\circ$ y velocidades nominales reconfigurables con un máximo de 50 °/s. El sistema de engranajes **(412)** realimenta información a la tarjeta electrónica de control del actuador **(410)** que contiene además sistemas electrónicos para medir la posición, la fuerza y el ángulo de apertura producida en el sistema robótico. Finalmente el movimiento producido en el sistema de accionamiento mecánico se transfiere a la estructura física del sistema robótico usando un eje central **(416)** que se acopla directamente a la estructura rígida articulada **(104)**.

La unidad de control principal del sistema robótico **(500)** tiene la capacidad de procesar a bordo la información completa de los subsistemas del sistema robótico, incluyendo las funcionalidades de activación, desactivación y funcionamiento de los sistemas de seguridad comandados por voz a través de un sistema microcomputarizado principal integrado **(508)**, el cual está sujeto a una de las paletas semi-rígidas de soporte lateral de brazo **(102)** (ver la FIG. 1). En esta unidad de control principal **(500)** también se encuentran el sistema de gestión eléctrica y la alimentación por batería, así como los sistemas de comunicación inalámbricos por medio de señales de radiofrecuencia.

De una forma detallada y como se muestra en la FIG. 6, la unidad de control principal **(500)** está compuesta por una carcasa rígida exterior **(502)** que protege los elementos internos de la unidad, otorgando dureza y resistencia mecánica al diseño. Además, sobre la carcasa de protección existen dos indicadores lumínicos **(504)** que permiten verificar de forma sencilla el funcionamiento eléctrico y lógico del sistema robótico. La unidad de control principal **(500)** contiene en su interior el sistema de administración y gestión eléctrica **(506)** el cual administra de forma inteligente todas las características eléctricas del sistema robótico, incluyendo tensión, corriente, y temperatura, así como la implementación de características de seguridad anti corto-circuito y el sistema de carga integrado de la batería. La unidad de control principal **(500)** también contiene el sistema

microcomputarizado principal integrado **(508)** encargado de procesar a bordo la información completa de todos los subsistemas, implementando de forma programada la lógica de control, y operando sin la necesidad de un sistema de cómputo adicional, comunicándose inalámbricamente por medio de señales de radiofrecuencia con diferentes protocolos de comunicación, posibilitando la transmisión de la información en tiempo real a través de internet o red local.

El sistema microcomputarizado principal integrado **(508)** está conformado por un soporte lógico programable de 64 bits capaz de realizar un procesamiento paralelo multinúcleo, con memoria interna integrada de almacenamiento masivo tipo FLASH que puede ir desde 8 GiB hasta 64 GiB, capacidad de memoria SDRAM que puede oscilar entre 1 GiB hasta 8 GiB y frecuencia de reloj superior a 1200 MHz, contando además con un coprocesador Neuronal integrado NPU con un mínimo de 28000 unidades físicas de procesamiento en hardware capaces de ejecutar operaciones especializadas de inteligencia artificial y respuestas adaptativas.

Con la adición de un componente de captura de señal auditiva integrado **(510)**, el cual está próximo a la cabeza del paciente o usuario (como es mostrado en la FIG. 2), se implementan las características de seguridad comandadas por voz que permiten la activación y desactivación del dispositivo exoesquelético. Finalmente, dentro de la unidad de control principal **(500)** se incluye la batería recargable de larga duración **(512)** que permite el suministro eléctrico constante y la operación autónoma de todo el sistema robótico. Esta batería de larga duración es de naturaleza recargable, con tecnología de iones de litio o de polímero de litio, desde 6000 mAh, y voltaje de salida superior a 5 Voltios, monitoreada activamente y en tiempo real por el sistema de administración y gestión eléctrica **(506)** para garantizar la seguridad del dispositivo.

Tanto la unidad de control intermedia dedicada a periféricos **(400)** como la unidad de control principal **(500)** están interconectadas entre sí para enlazar todos los subsistemas de la invención (como es mostrado en la FIG. 1). Es por esto que se incluye un cable de transmisión de datos de alta velocidad **(418)** y un cable de alimentación eléctrica **(514)** los cuales son de naturaleza desacoplable, elástica, flexible, y liviana, sin llegar a interferir con el movimiento del sistema robótico.

Finalmente, complementando la pluralidad de sensores internos descritos anteriormente, existen diversos sensores instalados externamente, como lo son el sistema de recolección de señales electroencefalográficas (EEG) **(600)** (visible en la FIG. 2) que permite la detección de patrones de cansancio mental de los usuarios en tiempo real, suministrando la información de forma

inalámbrica, y un sistema de captura de movimiento basado en una pluralidad de sensores inerciales y magnéticos externos interconectados de manera inalámbrica **(700)** (visibles en la FIG. 7) que son usados para que el sistema robótico pueda imitar o reproducir la información biomecánica del movimiento de la extremidad superior funcional (extremidad sana) del propio usuario o una tercera persona.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROCESO

De manera simplificada, se el proceso tiene dos actores principales como se detalla en la FIG. 7. La primera es una segunda persona **(802)**, que administra los planes de movimiento. Administra los planes de movimiento necesarios a través de red local o la internet, conectándose por medio de un terminal electrónico **(804)** a la nube del sistema **(806)**. Por otro lado, está el usuario **(808)**, que hace uso del sistema. Hay que tener en cuenta que hay una comunicación bidireccional entre el usuario quien lleva el dispositivo y la segunda persona involucrada, donde esta última puede controlar en tiempo real la acción del sistema y también visualizar los parámetros del usuario.

La arquitectura del sistema tiene dos modos de funcionamiento (ver la FIG. 7). En el primer modo de operación, llamado modo autónomo, el usuario controla el sistema en modo de espejo. Esto significa que el sistema de captura de movimiento basado en una pluralidad de sensores inerciales y magnéticos externos **(700)** enviarán la información de movimiento del brazo sano del usuario al sistema, permitiendo un movimiento sincronizado en ambos brazos, dentro de los parámetros establecidos en la configuración o lo parámetros determinados por la segunda persona.

En el segundo modo de operación, llamado modo guiado, una segunda persona **(810)** puede guiar los movimientos del sistema utilizando el sistema de captura de movimiento basado en una pluralidad de sensores inerciales y magnéticos externos **(700)**. Esto significa que la segunda persona guiará directamente el movimiento, también dentro de los parámetros establecidos en la configuración o lo parámetros determinados por la segunda persona.

Naturalmente, el objetivo es reunir estos modos de funcionamiento, junto con otros elementos de control, para lograr la máxima eficacia en la recuperación de la función motora del usuario. La respuesta del coprocesador neuronal integrado NPU, presente continuamente a lo largo de la operación como un supervisor del sistema, asegura un ajuste detallado del sistema de acuerdo con el perfil biológico de cada usuario y su progreso motriz.

El funcionamiento autónomo del sistema, así como la centralización de los procesos críticos sobre red local, internet y en la nube **(806)**, permite la completa movilidad del sistema, donde el usuario puede estar en cualquier lugar (laboratorio, casa, centro especializado), mientras que la segunda persona involucrada en el proceso puede estar en cualquier otro lugar.

Técnicamente, como es mostrado en la FIG. 8, la arquitectura está distribuida en cinco módulos cuya comunicación sigue los estándares y protocolos de la comunicación digital.

En primer lugar, el elemento principal y la base de la arquitectura está en la nube: "Sistema de Adquisición de Datos y Control Inteligente en Tiempo Real". El primer módulo consiste en una computadora operada por una segunda persona, desde la cual se administran y ajustan los planes de movimiento. Esta información viajará en tiempo real a la nube.

Luego, interactuando con el usuario, hay un conjunto de sistemas que permiten la intercomunicación entre la estación de trabajo y el sistema. Estos proporcionan la base de procesamiento para la toma de decisiones y la validación de los planes de movimiento, procesando también la información recibida en conjunto y decidiendo cómo deben comportarse los elementos restantes.

El panel de administración del sistema se actualiza con la información del plan de movimiento. Esto permite que el usuario, la segunda persona acompañante (si lo hay) y todas las demás partes que intervienen en el proceso reciban exactamente la misma información, tanto sobre el comportamiento del sistema como sobre los parámetros del usuario y los ajustes remotos. Por otra parte, la información se actualiza de la misma manera directamente al sistema.

Los sistemas integrados en el exoesqueleto envían los parámetros del usuario en tiempo real, tanto a los sistemas de control intermedios (haciendo así un bucle de control cerrado en tiempo real), como directamente a la nube para el resto de los participantes en la sesión. Esta acción también proporciona información sobre la ejecución de las rutinas de movimiento.

Como elemento final y complementario al sistema de control cerrado e hipervisado, está el sistema de captura de movimiento basado en una pluralidad de sensores inerciales y magnéticos externos, que se comunican con la etapa de control y también envía los datos a la nube, que finalmente son recibidos por quien opera el exoesqueleto en forma de información de movimiento en tiempo real.

De esta manera, se configura toda la arquitectura del sistema, asegurando que cada parte del proceso sea individual.

MODALIDAD PREFERENTE DE LA INVENCION

- El sistema puede ser utilizado como un instrumento de asistencia a procesos de rehabilitación de lesiones motoras, del sistema musculoesquelético y neuromotoras para miembro superior del cuerpo humano, específicamente en el segmento del brazo y del antebrazo, permitiendo aplicar rutinas de entrenamiento o mejoramiento de las cualidades físicas y fisiológicas del paciente.
- El sistema puede ser utilizado como un instrumento de asistencia al diagnóstico de lesiones motoras, del sistema musculoesquelético y neuromotoras para miembro superior del cuerpo humano, específicamente en el segmento del brazo y del antebrazo, permitiendo recoger información precisa sobre el paciente, los movimientos, la calidad del movimiento entre otros factores de interés médico, deportivo o científico.
- El sistema puede ser utilizado como apoyo al desarrollo de actividades de la vida diaria, buscando autonomía funcional para adultos mayores.

OTRAS MODALIDADES DE LA INVENCION

- El sistema puede ser utilizado como un instrumento de entrenamiento y reacondicionamiento físico de miembro superior, con objetivo deportivo, competencia u otros, ya que la información en tiempo real sobre el paciente, sus movimientos y la calidad del movimiento permite evidenciar técnicas específicas, reproducibilidad del movimiento, entre otros.
- El sistema puede ser utilizado como un instrumento de potenciación física y muscular de miembro superior, en aplicaciones industriales o militares, ya que gracias a su portabilidad, peso y eficiencia mecánica permite enriquecer los movimientos naturales del cuerpo humano, dotándolo de capacidades excepcionales no disponibles sin la adición del sistema.
- El sistema puede ser utilizado como una interfaz háptica, ya que permite al usuario sentir o manipular objetos simulados en entornos virtuales y sistemas teleoperados. Esta aplicación puede extenderse a sistemas de realidad virtual, realidad aumentada, videojuegos y simuladores de entrenamiento de diferentes actividades motoras que involucren el miembro superior.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Para una mejor apreciación de las ventajas, beneficios y diferencias que presenta la invención aquí reportada en comparación con otras analizadas en el estado de la técnica, se describen brevemente las figuras que representan las formas en que pueden transformarse los principios registrados en este documento.

FIG. 1. Detalla la estructura general del sistema robótico exoesquelético, actuado eléctricamente, no invasivo y vestible, el cual permite la asistencia del movimiento de miembros superiores. Allí se identifican los principales componentes que se detallarán en la descripción de la invención.

FIG. 2. Especifica la estructura general del sistema robótico, exoesquelético, actuado eléctricamente, no invasivo y vestible, detallando la portabilidad del sistema y su acople al miembro superior, además del sistema de medición electroencefalográfica (EEG).

FIG. 3. Especifica la estructura general del sistema robótico, exoesquelético, actuado eléctricamente, no invasivo y vestible, detallando la portabilidad del sistema y su acople al miembro superior desde una vista posterior.

FIG. 4. Detalla la pluralidad de sensores que permiten la recolección de las bioseñales del usuario, y que están incluidos en el recubrimiento de sujeción al miembro superior y sobre la estructura mecánica del sistema robótico.

FIG. 5. Detalla los componentes físicos integrados en la unidad de control intermedia, entre los que se encuentran la unidad de control dedicada a periféricos, el sistema de accionamiento mecánico, sistema de acoplamiento y pantalla integrada de información prioritaria.

FIG. 6. Detalla los componentes físicos integrados en la unidad de control principal, entre los que se encuentran la lógica de control, los sistemas de activación y desactivación y los mecanismos de seguridad a través de un sistema microcomputarizado principal integrado, el sistema de alimentación, y el sistema de comunicaciones.

FIG. 7. Especifica la arquitectura y los modos de operación de la invención, dentro de los cuales se encuentran el sistema de control distribuido en la nube, los sensores de posicionamiento inercial

y magnético externos y la actuación conjunta de todos los elementos en un ejemplo de asistencia al movimiento.

FIG. 8. Realiza la descripción técnica de la arquitectura a través de un diagrama de bloques, el cual representa el flujo de señales y datos desde y hacia la invención, detallando la interoperación sincronizada en la nube, la administración remota de los planes de movimiento y confluyendo en la entrega de información a un usuario final del sistema.

FIG. 9. Realiza la descripción del método implementado por computador que produce las acciones de control y monitorización tanto local como remoto del exoesqueleto para producir el movimiento en el segmento del brazo y el antebrazo.

FIGURAS

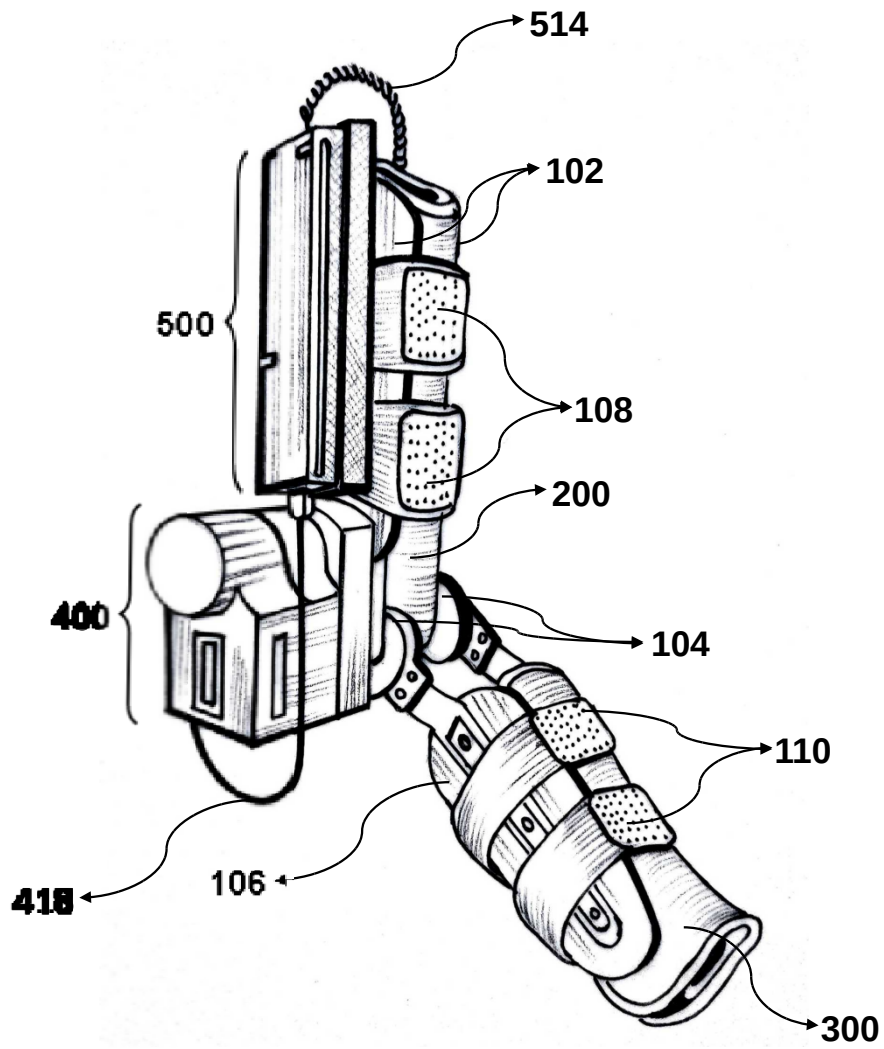


FIG. 1.

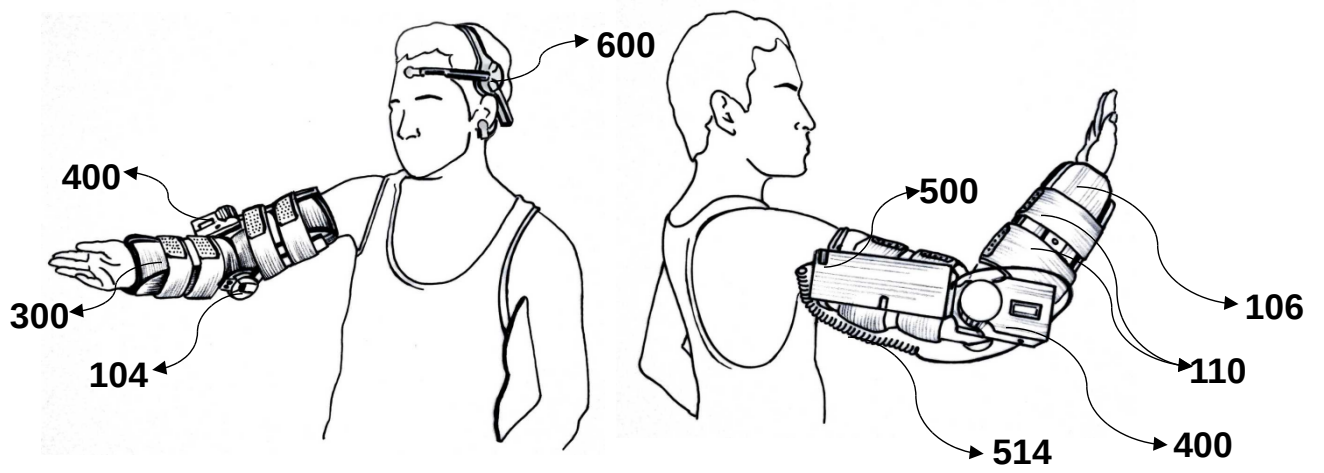


FIG. 2.

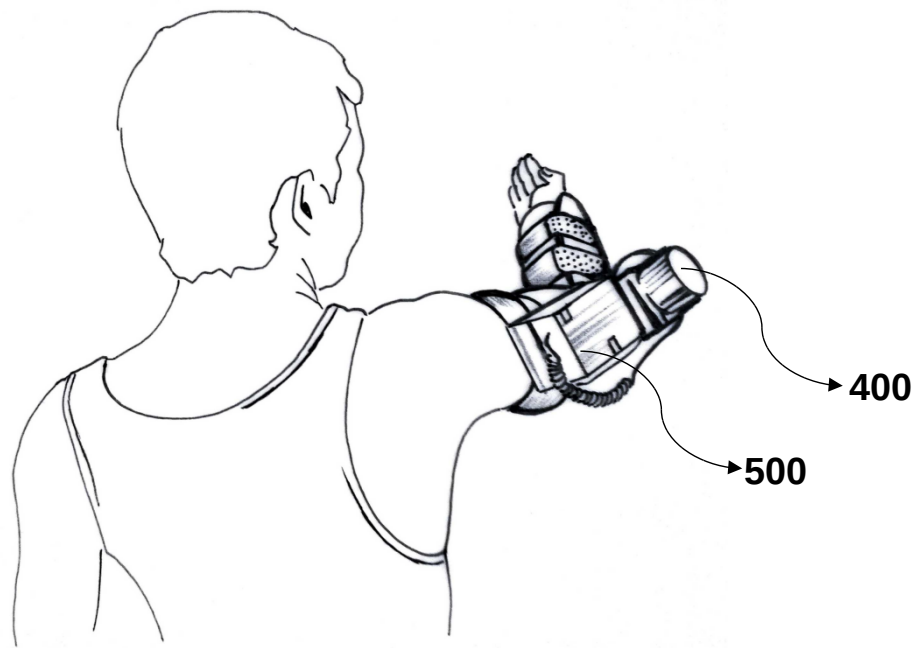


FIG. 3.

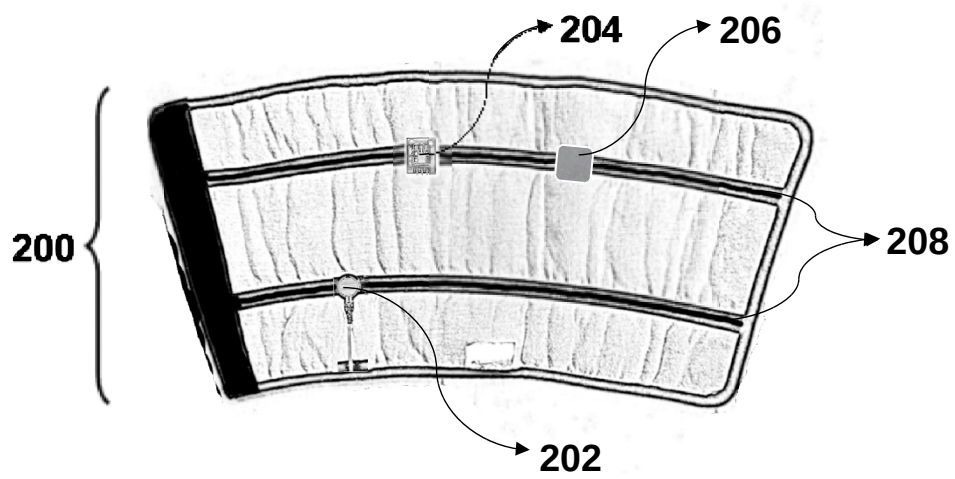


FIG. 4A.

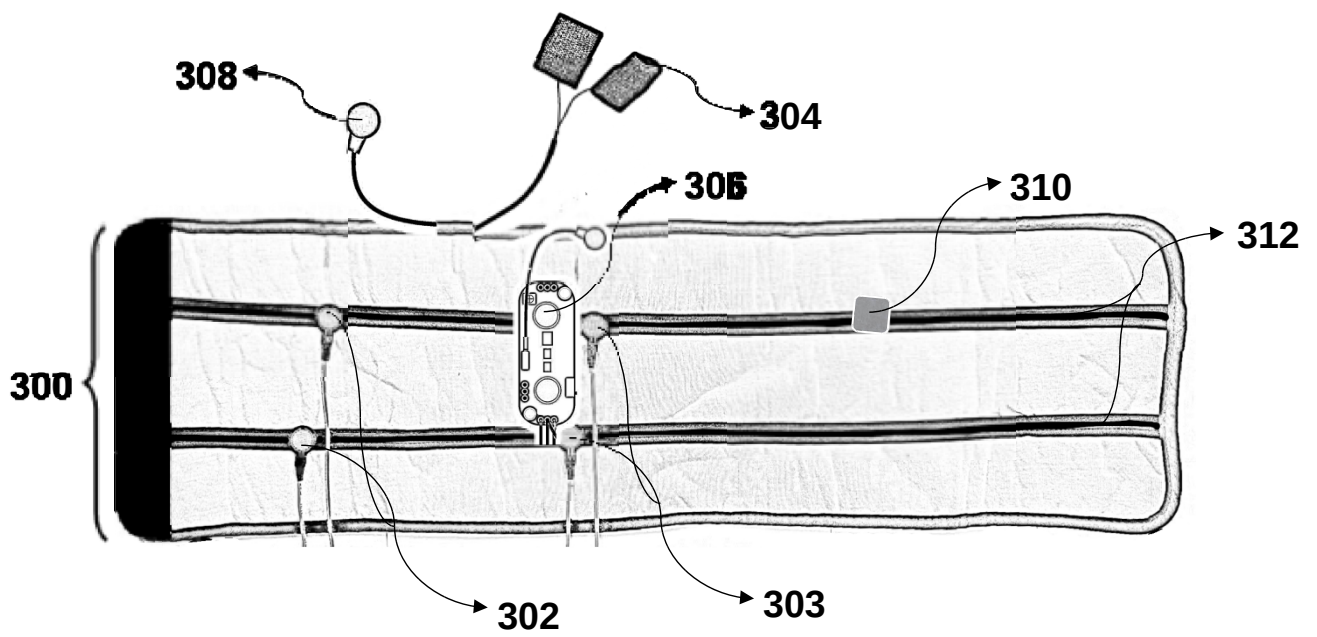


FIG. 4B.

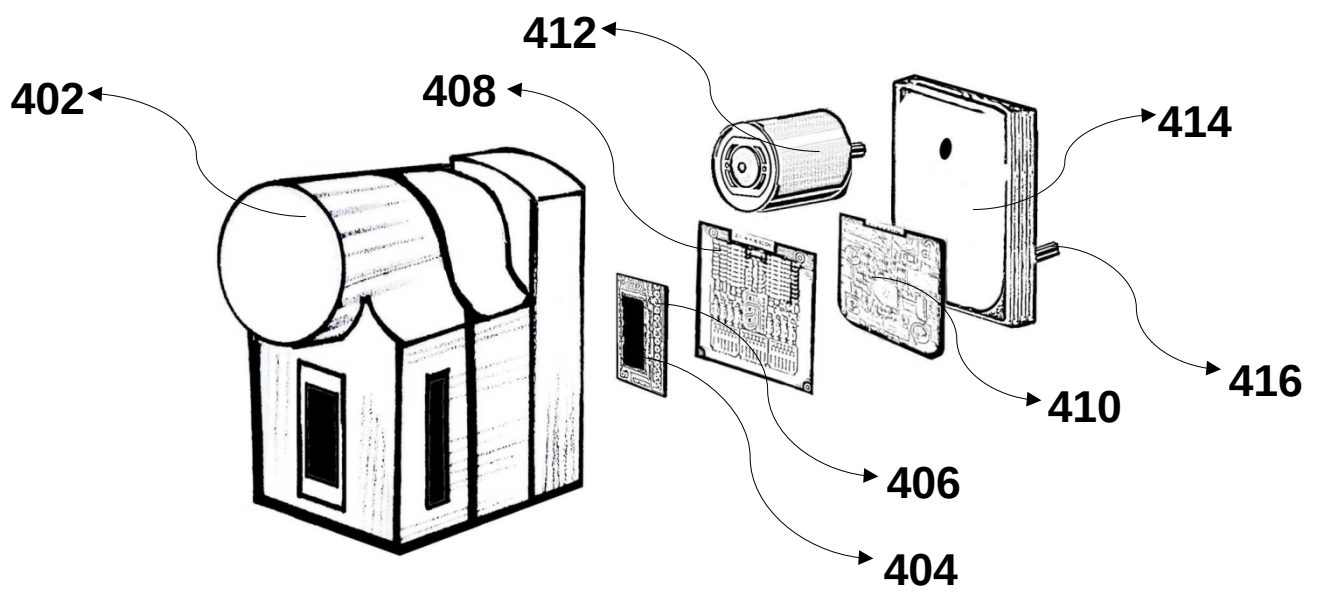


FIG. 5.

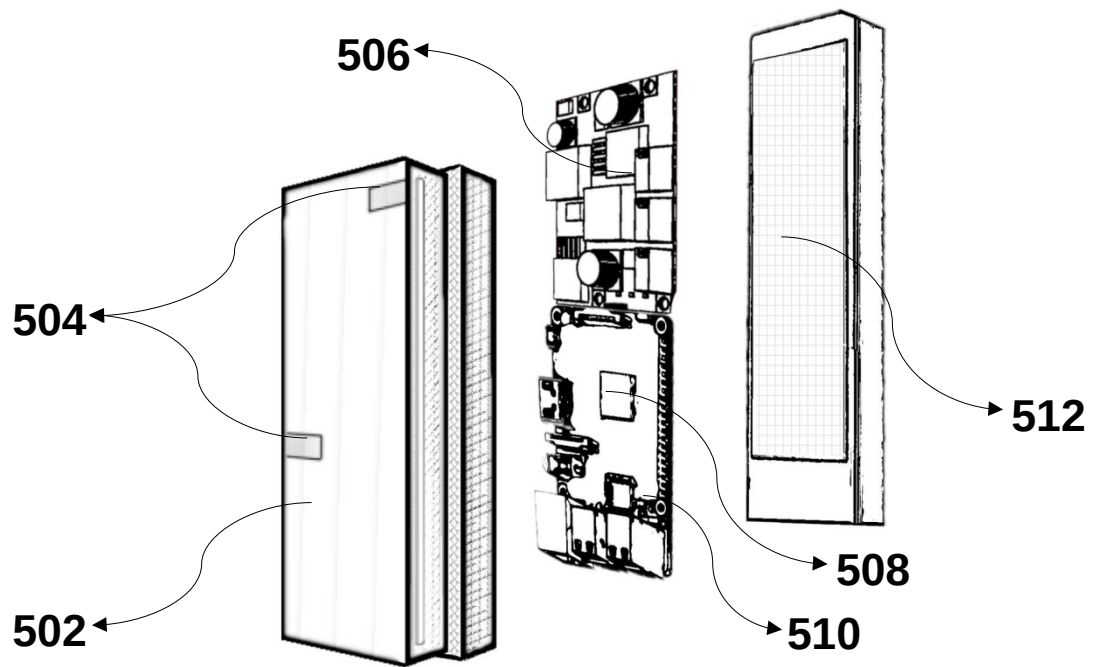


FIG. 6.

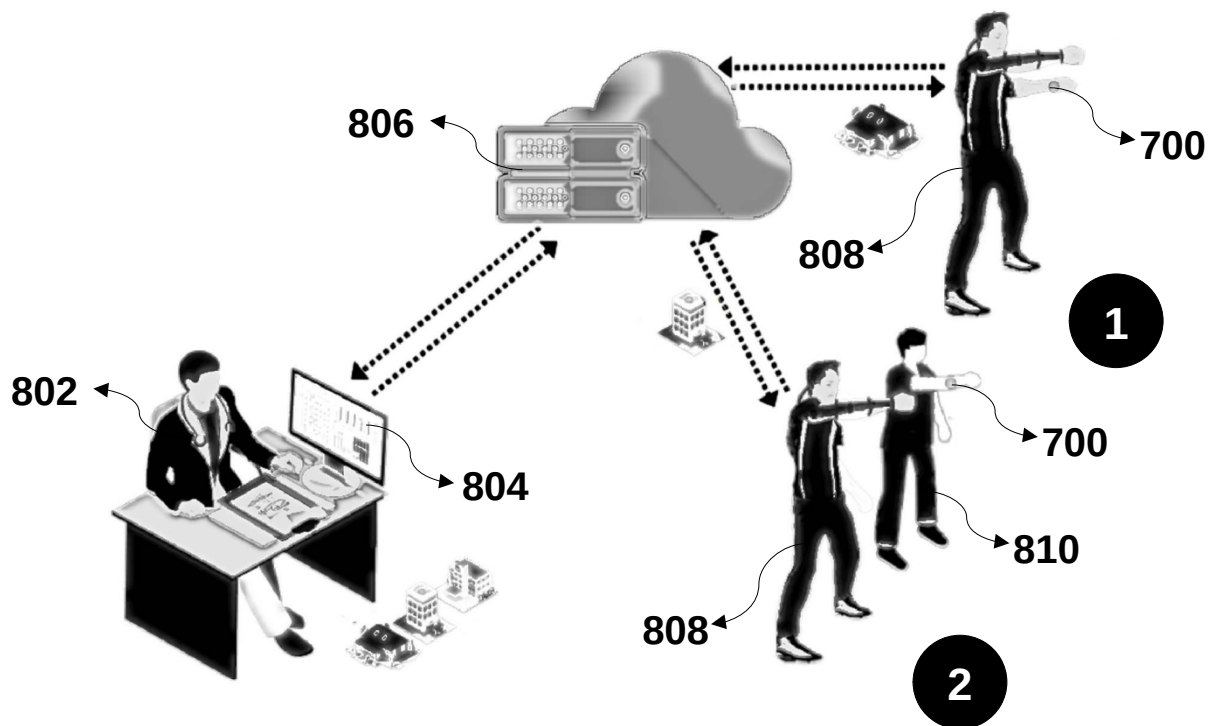


FIG. 7.

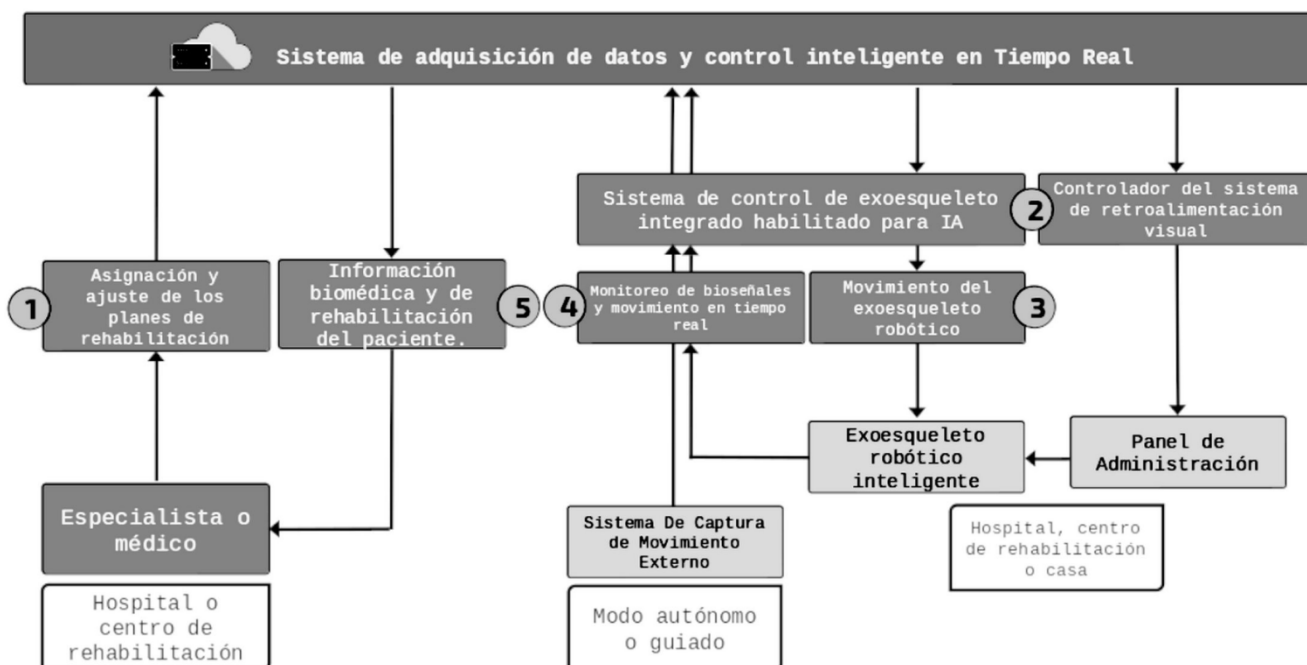


FIG. 8.

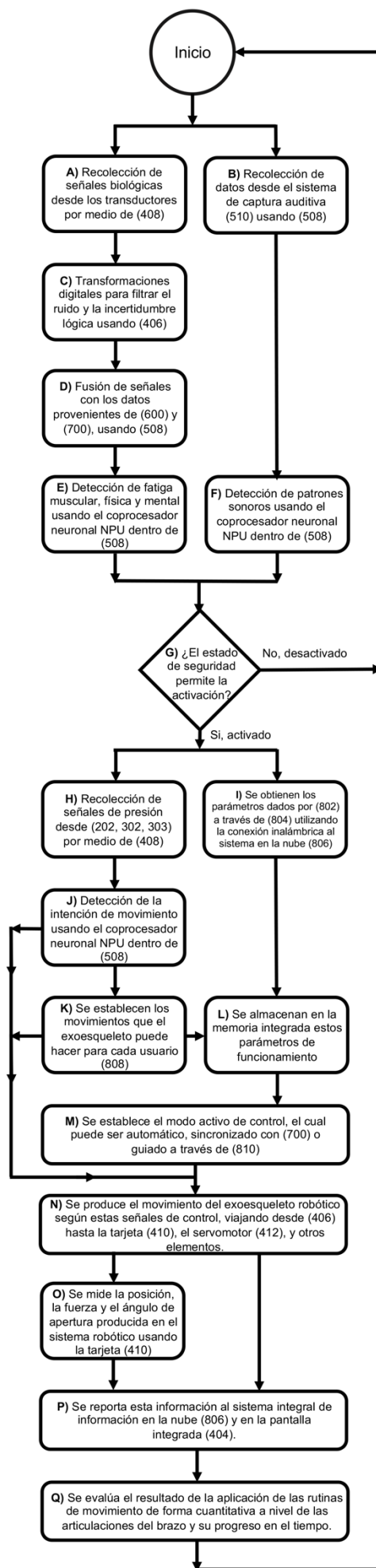


FIG. 9.

REIVINDICACIONES

1. Sistema exoesquelético robótico, electromecánico, e implementado por computador, el cual permite la asistencia del movimiento en el segmento del brazo y el antebrazo, caracterizado porque comprende una estructura fija, unidades de procesamiento de información **(406, 508)** interconectadas en red; transductores de señales biológicas integrados en la estructura de soporte interna **(200, 300)** conectados al procesador digital de señales **(406)**; actuadores mecánicos conectados a una tarjeta de interfaz periférica **(408)** y una tarjeta electrónica de control del actuador **(410)**; componente de captura de señal auditiva integrado **(510)** en el sistema microcomputarizado principal **(508)**, componente para la recolección de señales encefalográficas **(600)** y componente para la captura de movimiento **(700)** conectados al sistema microcomputarizado principal **(508)**, donde el procesador digital de señales **(406)** está configurado para recibir las señales de los transductores de señales biológicas integrados en las piezas **(112, 114, 202, 204, 206, 302, 304, 306, 308, 310)**, que soportan los sensores de presión resistivos **(202)** y **(302)**, sensor de temperatura **(204)**, sensores de vibración **(112)** **(114)**, sensor de respuesta galvánica superficial de la piel (GSR) **(304)**, sensor electromiográfico superficial (sEMG) **(306)**, sensor de electrocardiografía (ECG) **(308)**, sistema de recolección de señales electroencefalográficas (EEG) **(600)** y sensores inerciales y magnéticos externos interconectados de manera inalámbrica **(700)**. Además cuenta con un servomotor **(412)** de activación a las piezas **(600, 700)**, conectado al sistema micro computarizado principal **(508)** y con batería recargable **(512)**;
2. Sistema exoesquelético robótico, electromecánico, e implementado por computador según reivindicación 1 caracterizado porque el sistema micro computarizado principal **(508)** tiene comunicación inalámbrica por medio de señales de radiofrecuencia con los sensores y hacia el internet.
3. Sistema exoesquelético robótico, electromecánico, e implementado por computador según reivindicación 1 caracterizado porque el servomotor **(412)** esta adosado a una estructura física a partir de las piezas **(102)** y **(106)**, sujetas a una articulación mecánica **(104)** movable fijadas a las bandas enrollables de brazo **(200)** y de antebrazo **(300)**, cuya sujeción se realiza con correas **(108)** y **(110)**,
4. Sistema exoesquelético robótico, electromecánico, e implementado por computador según reivindicación 1, caracterizado porque el microcomputarizado principal **(508)** contiene el

coprocesador neuronal integrado NPU, el cual está en conexión con los sensores de presión resistivos **(202, 302)**, el sensor electromiográfico superficial (sEMG) **(306)**, el sensor de electrocardiografía (ECG) **(308)** y el sensor electroencefalográficas (EEG) **(600)**,

5. Método implementado por computador que produce las acciones de control y monitorización tanto local como remoto del exoesqueleto para producir el movimiento en el segmento del brazo y el antebrazo, el cual comprende las siguientes etapas:

- A) Recolectar en la tarjeta de interfaz periférica **(408)** las señales de los transductores de señales biológicas integrados en las piezas **(112, 114, 202, 204, 206, 302, 304, 306, 308, 310, 600, 700)**.
- B) Recolectar en sistema microcomputarizado principal integrado **(508)** las señales provenientes desde el componente de captura de señal auditiva **(510)**.
- C) Procesar las señales del paso B) con el procesador digital de señales **(406)**, el cual aplica transformaciones digitales para filtrar el ruido y la incertidumbre lógica.
- D) Fusionar las señales provenientes del paso C), con la información que produce del sistema de recolección de señales electroencefalográficas (EEG) **(600)** y con la información que produce el sistema de captura de movimiento basado en una pluralidad de sensores inerciales y magnéticos **(700)**, usando el sistema microcomputarizado principal integrado **(508)**.
- E) Detectar en tiempo real los patrones de fatiga muscular, agotamiento físico, y fatiga mental en los usuarios, al analizar las señales del paso D) con el coprocesador neuronal NPU integrado dentro del sistema microcomputarizado principal **(508)**.
- F) Detectar en tiempo real los patrones de las señales sonoras adquiridas en el paso B), incluyendo la voz, usando el coprocesador neuronal NPU integrado dentro del sistema microcomputarizado principal **(508)**.
- G) Establecer el estado de seguridad actual del exoesqueleto robótico basado en los patrones identificados en los pasos E) y F), anticipándose a factores de riesgo preexistentes. Si el estado de seguridad lo permite, el exoesqueleto se activa y el método continua en el paso H). De lo contrario, el exoesqueleto se desactiva y el método se reinicia desde el principio.
- H) Recolectar las señales provenientes de los sensores de presión **(202, 302, 303)** usando la tarjeta de interfaz periférica **(408)**.

- I) Obtener los parámetros específicos de funcionamiento dados por **(802)** a través de **(804)** utilizando la conexión inalámbrica al sistema integral de información en la nube **(806)** a través de internet o red local.
- J) Detectar en tiempo real los patrones de la intención de movimiento, al analizar las señales producidas en el paso H) con el coprocesador neuronal NPU integrado dentro del sistema microcomputarizado principal **(508)**.
- K) Establecer los diferentes movimientos que el exoesqueleto puede realizar, los cuales son actualizados y personalizados en tiempo real para cada usuario del sistema **(808)**.
- L) Almacenar en la memoria integrada del exoesqueleto los parámetros de funcionamiento adquiridos en los pasos I) y K), lo que permite la operación ininterrumpida en caso de no contar con acceso continuo a la red de datos.
- M) Establecer el modo activo de control basado en los parámetros almacenados en N). Este modo activo de control puede ser: modo automático de funcionamiento, modo sincronizado directamente con el movimiento recolectado a través del sistema de captura de movimiento inercial y magnético externos **(700)**, o bien, modo de activación asistida y guiada directamente por una tercera persona **(810)**.
- N) Generar el movimiento del exoesqueleto robótico según las señales de control establecidas en los pasos J), K), y M), las cuales van desde el procesador digital de señales **(406)** hasta la tarjeta electrónica de control del actuador **(410)**, el servomotor **(412)**, y otros elementos del sistema robótico, garantizando su operación.
- O) Medir la posición, la fuerza y el ángulo de apertura producida en el sistema robótico usando la tarjeta electrónica de control del actuador **(410)**.
- P) Enviar la información de los pasos N) y O), al sistema integral de información en la nube **(806)** a través de internet o red local. Esta misma información se reporta en la pantalla integrada **(404)**, informando visualmente al usuario acerca de los procesos realizados con el sistema robótico.
- Q) Evaluar el resultado de la aplicación de las rutinas de movimiento de forma cuantitativa a nivel de las articulaciones del brazo y su progreso en el tiempo. Cuando este proceso concluye, se da inicio a un nuevo ciclo de este método desde el principio.