

Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia, para dar cumplimiento a las disposiciones de la decisión 486, artículos 28 y 30, de La Comisión de la Comunidad Andina, referente a Propiedad Intelectual:

1. TITULO: PASSIVE ORTHOSES REHABILITATION – DIGITAL EXOSKELETON (PRO-Dix)

2. DESCRIPCIÓN DEL INVENTO:

2.1 Objeto de la invención: Sector tecnológico al que se refiere o al cual se aplica la invención:

La presente invención se refiere a órtesis robóticas para la rehabilitación pasiva de la mano, su diseño beneficia a los pacientes con diferente grado de discapacidad motriz de la mano, a causa de lesiones neurológicas, musculares, oseas o articulares. Hace parte de la innovación para el desarrollo tecnológico en el área de la salud, el diseño del “**PRO-Dix**” es propio, se diferencia de los exoesqueletos de mano y muñeca existentes en cuanto a la interface órtesis piel y la estructura del exoesqueleto mecánico, posee piezas en acrílico 3 mm articuladas con ejes de duraluminio y con palancas que transmiten el movimiento desde el servomotor a las demás piezas de forma armónica permitiendo al exoesqueleto imitar el movimiento de los dedos de la mano.

2.2 Estado de la técnica: La tecnología anterior conocida por el solicitante que fuese útil para la comprensión y el examen de la invención y las referencias a los documentos y publicaciones anteriores relativas a dicha tecnología

El propio solicitante es titular de la invención, la órtesis robótica “PRO-Dix” consiste en un exoesqueleto mecatrónico para realizar rehabilitación pasiva en los dedos de la mano, complementando la terapia física convencional en los pacientes con discapacidad motriz de la mano de cualquier etiología, el dispositivo biomédico cumple la función de facilitar la movilización pasiva temprana en caso de lesiones traumáticas y continuar la movilización en caso de enfermedades crónicas. Consiste en tres estructuras: 1) “PRO-Dix I”: es un exoesqueleto que permite reproducir el movimiento del primer dedo con 3 grados de libertad (prensión, flexión - extensión de las falanges proximal y distal). 2) “PRO-Dix II”: es un exoesqueleto que permite reproducir el movimiento del segundo y tercer dedos con 2 grados de libertad (flexión - extensión de las falanges proximal y media). 3) “PRO-Dix III”: es un exoesqueleto que permite reproducir el movimiento del cuarto y quinto dedos con 2 grados de libertad (flexión - extensión de las falanges proximal y media).

El exoesqueleto “PRO-Dix” se diferencia del exoesqueleto “EMMRA-1” en todos los aspectos estructurales y dinámicos: 1) Las piezas de acrílico del “EMMRA-1” y del “PRO-Dix” tienen forma y configuración diferente, además, el “PRO-Dix”

cuenta con piezas de acrílico adicionales que sirven de palancas. 2) Las piezas de acrílico del “EMMRA-1” se articulan paralelamente a las articulaciones de los dedos de la mano, con ejes tipo remache en duraluminio, el “PRO-Dix” se articula en puntos paralelos a las articulaciones de los dedos de la mano y en puntos intermedios en las palancas de acrílico. 3) El exoesqueleto “EMMRA-1” requiere dos servomotores para reproducir el movimiento de cada dedo, mientras que la órtesis “PRO-Dix” requiere solo un servomotor para reproducir el movimiento del dedo. 4) La dinámica de movimiento del “PRO-Dix” es un diseño original, permitiendo que las piezas de acrílico se desplacen armónicamente para flexionar y extender los dedos de la mano, este mecanismo no se encuentra en ninguno de los exoesqueletos existentes.

Los exoesqueletos de miembros superiores utilizados para la rehabilitación de las limitaciones funcionales de la mano, se encuentran en el grupo de “wereable robots” y son llamados Robots Prostéticos. La revisión bibliográfica del estado del arte relacionado con este tipo de tecnología biomédica, determina diferencias fundamentales entre los dispositivos existentes y nuestro Prototipo EMMRA-1.

Desde los años 80 muchos investigadores han estado tratando de desarrollar manos robóticas destinadas a replicar las funciones de la mano humana. En la práctica, los exoesqueleto aplican fuerzas externas a los dedos de la mano, con el fin de obligarlos a realizar una trayectoria determinada o para mejorar la fuerza que el dedo normalmente podría aplicar, de acuerdo a la totalidad de movimiento articular se definen los Grados de Libertad (GDL) propios de cada exoesqueleto. A continuación, describimos la tecnología existente en exoesqueletos de mano, resaltando las diferencias con respecto al Prototipo EMMRA-1.

I. El Rutgers Master II:

- Características: Es un exoesqueleto con aplicaciones hápticas, permite 4 GDL (1 GDL para cada dedo del I al IV), utiliza cables y actuadores neumáticos, es programado por software, tiene sensores de posición.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, tiene menos de 7 GDL, no posee aplicaciones de rehabilitación específicas, no posee aplicaciones de asistencia, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, los actuadores ocupan mucho espacio, y sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: M. Bouzit, G. Burdea, G. Popescu and R. Boian. "The Rutgers Master II?New Design Force-Feedback Glove", IEEE/ASME Transactions On Mechatronics. 2002.

II. Robotics Center-Ecole des Mines de Paris Hand:

- Características: Es un exoesqueleto con aplicaciones hápticas; permite 6 GDL (pulgar 3 GDL e índice 3 GDL), utiliza poleas, palancas y 3 actuadores

tipo motores de corriente continua, es programado por software, tiene sensores de Posición.

- Diferencias: Estructura mecánica diferente, tiene menos de 7 GDL, no posee aplicaciones de rehabilitación específicas, no posee aplicaciones de asistencia, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, los actuadores ocupan mucho espacio, y sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: P. Stergiopoulos, P. Fuchs and C. Lurgeau. "Design of a 2-Finger Hand Exoskeleton for VR Grasping Simulation", Proceedings of EuroHaptics 2003. Dublin (Ireland).

III. Exoesqueleto de Miembro Superior:

- Características: Plataforma dinámica para estudiar los movimientos de la mano en 3D, midiendo la posición y el torque de cada articulación a una tasa de muestreo de 960Hz, además calculando la velocidad y aceleración a partir de la posición, tiene 7 GDL (flexión y extensión dedos de mano), utiliza ejes y 5 actuadores tipo servomotores de alta potencia y gran tamaño para varias articulaciones, programado por software, tiene sensores de Posición.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, no posee aplicaciones de rehabilitación específicas, no posee aplicaciones de asistencia, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, los actuadores ocupan mucho espacio, y sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: Michael Mistry, Peyman Mohajerian, y Stefan Schaal. Arm Movement Experiments with joint space force fields using an exoskeleton robot. IEEE 9th ICORR. June 2005, Chicago, IL(USA).

IV. Milan University Hand:

- Características: Dispositivo de experimentación para la rehabilitación de la mano y muñeca, posee 2 GDL (1 GDL para los dedos y 1 GDL para muñeca), utiliza cables de tracción y dos actuadores tipo servomotores de alta potencia y gran tamaño, es programado por software, tiene sensores de posición y fuerza.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, tiene menos de 7 GDL, posee aplicaciones de rehabilitación limitadas, no posee aplicaciones de asistencia, el entorno de trabajo es institucional y experimental, operador técnico dependiente, los actuadores ocupan mucho espacio, y sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: M. Mulas, M. Folgheraiter and G. Gini. "An EMG-controlled

Exoskeleton for Hand Rehabilitation", IEEE 9th ICORR, June 28 - July 1, 2005, Chicago, IL(USA).

V. HWARD:

- Características: Dispositivo para la rehabilitación de mano y muñeca, posee 3 GDL (2 GDL para los dedos y 1 GDL para muñeca), utiliza palancas y actuadores neumáticos, es programado por software, tiene sensores de posición y fuerza.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, tiene menos de 7 GDL, posee aplicaciones de rehabilitación limitadas, no posee aplicaciones de asistencia, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, los actuadores ocupan mucho espacio, y sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: Takahashi, L. Der-Yeghiaian, V.H. Le, S.C. Cramer. "A Robotic Device for Hand Motor Therapy After Stroke", IEEE 9th ICORR, June 28 - July 1, 2005, Chicago, IL (USA).

VI. Gifu University Hand:

- Características: Dispositivo para la rehabilitación de mano y muñeca, posee 19 GDL (pulgar 4 GDL, muñeca y demás dedos 3 GDL), conformado por una estructura metálica de gran tamaño, con articulaciones mecánicas múltiples, actuadores tipo servomotores para cada articulación, programado por software, utiliza un guante de datos en la mano contraria, tiene sensores de posición y fuerza.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, posee aplicaciones de rehabilitación para pacientes con alteraciones en una sola mano, no posee aplicaciones de asistencia, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, los actuadores ocupan mucho espacio, y sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: H. Kawasaki, et al. "Development of a Hand Motion Assist Robot for Rehabilitation Therapy by Patient Self-Motion Control", IEEE 10th ICORR, June 12-15, 2007, Noordwijk, The Netherlands.

VII. Gentle/G Hand:

- Características: Dispositivo para la rehabilitación de mano y muñeca, posee 6 GDL (muñeca 3 GDL, pulgar 1 GDL y otros dedos 2 GDL), utiliza piñones, cadenas y actuadores tipo motores de corriente continua, es programado por software, sensores de posición y fuerza.

- Diferencias: Estructura mecánica diferente, tiene menos de 7 GDL, no posee aplicaciones de asistencia, operador técnico dependiente, los actuadores ocupan mucho espacio, y sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: Rui C.C, et al. "Reach & Grasp Therapy: Design and Control of a 9 DOF Robotic Neuro-rehabilitation System", IEEE 10th ICORR, June 12.15, 2007, Noordwijk, The Netherlands.

VIII. Berlin University Hand

- Características: Dispositivo para la rehabilitación de la mano, posee 20 GDL, (flexión y extensión de todos los dedos de la mano), utiliza poleas, cables de tensión y actuadores tipo motores de corriente continua, tiene un guante de neopreno para protección de la piel y es controlado por señal de electromiografía en el antebrazo, tiene sensores de posición, codificadores ópticos y sensores de fuerza.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, no posee aplicaciones de asistencia, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, los actuadores ocupan mucho espacio, y sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: A. Wege and G. Hommel. "Development and Control of a Hand Exoskeleton for Rehabilitation of Hand Injuries", IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. December 2007, Sanya, China.

IX. University of Tsukuba Hand:

- Características: Dispositivo para la rehabilitación de la mano, posee 8 GDL (pulgar 2 GDL, índice 3 GDL, y anular 3 GDL), utiliza ejes articulares, palancas y actuadores tipo servomotores, es programado por software, tiene sensores de posición.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, no posee aplicaciones de asistencia, los servomotores son pequeños y no brindan la fuerza suficiente para manipular objetos, el entorno de trabajo es institucional, operador dependiente.
- Publicación: Y. Hasegawa, et al. "Five-Fingered Assistive Hand with Mechanical Compliance of Human Finger", IEEE ICRA, May 19-23, 2008, Pasadena, CA (USA).

X. PERCRO Hand I:

- Características: Aplicación: Dispositivo háptico, posee 6 GDL (pulgar 3 GDL

e índice 3 GDL), utiliza piñones, palancas y actuadores tipo motores de corriente continua, es programado por software, tiene sensores de posición.

- Diferencias: Estructura mecánica diferente, tiene menos de 7 GDL, no posee aplicaciones de rehabilitación, no posee aplicaciones de asistencia, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, los actuadores ocupan mucho espacio, y sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: M. Fontana, et al. "Mechanical design of a novel Hand Exoskeleton for accurate force displaying", IEEE ICRA, May 12-17, 2009, Kobe, Japan.

XI. Tokyo Institute and Technology Hand:

- Características: Dispositivo de asistencia para mejorar la fuerza, posee 10 GDL (2 GDL para cada dedo), utiliza ejes y motores tipo actuadores neumáticos, es controlado por señal electromiográfica, tiene sensores de posición y fuerza.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, no tiene aplicaciones de rehabilitación definida pero puede desarrollarla, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, los actuadores ocupan mucho espacio, y sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: K. Tadano, et al. " Development of grip amplified glove using bi-articular mechanism with pneumatic artificial rubber muscle", IEEE ICRA, May 3 - 8, 2010, Anchorage, Alaska, USA.

XII. Exoesqueleto Prototipo EMMRA-1:

- Características: Dispositivo de asistencia y rehabilitación para mejorar la fuerza, posee 7 GDL (3 GDL para el primer dedo, 2 GDL para los demás dedos), utiliza 8 servomotores, es controlado por señal electromiográfica, señal de voz y tiene sensores de fuerza resistivos.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, el entorno de trabajo es doméstico, tiene más servomotores, mayor peso, sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: Moreno A, Juan. Moreno A, Julián. Prototipo Exoesqueleto de Mano y Muñeca con Aplicaciones de Rehabilitación y Asistencia EMMRA - 1. Iberdiscap 2015. Páginas 219 – 222. ISBN:978-956-9763-00-7

2.3 Descripción de la Invención: Incluye una descripción de la invención en términos que permitan la comprensión del problema técnico y de la solución aportada por la invención, exponiendo las diferencias y eventuales ventajas con respecto a la tecnología anterior.

2.3.1 Descripción:

El exoesqueleto que la invención propone ha sido diseñado específicamente para permitir la rehabilitación pasiva de la mano, se compone de tres interfaces: La primera **Interface órtesis-piel** consiste de un protector de cuero y neopreno, diseñados exclusivamente para adaptar la órtesis a la piel y ajustar el exoesqueleto a la mano del paciente. La segunda **Interface órtesis pasiva** está fabricada con piezas en acrílico 3mm que sirven de eslabones y palancas, se articulan con ejes tipo remache en duraluminio y acero inoxidable, permiten un movimiento armónico a los dedos. La tercera **Interface órtesis activa** involucra los actuadores (servomotores) que tienen una palanca que transmite el movimiento a las palancas en acrílico mm y estas a su vez a las piezas de acrílico en contacto con los dedos de las manos, está innovadora dinámica permitir el movimiento de los dedos de la mano con un solo servomotor en la base.

Para el funcionamiento del dispositivo se tienen tres componentes: El primero es el **Módulo de Control**, cuenta con un módulo de control electrónico, que permite el movimiento de las falanges de los dedos de 0 a 90 grados, sin embargo, este control puede ser modificado por el técnico operador a las necesidades de cada paciente. El segundo es la **Fuente de Alimentación**, cuenta con fuentes de alimentación conmutada exclusivas para uso médico, certificadas con estándares internacionales de seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnética.

2.3.2 Problema técnico:

La discapacidad es una problemática de salud pública mundial, específicamente la discapacidad de la mano ocasiona un costo económico alto en todos los países, más elevado por la pérdida de años de vida productiva que por los costos de tratamiento y rehabilitación. Los accidentes laborales, caídas de la bipedestación, lesiones deportivas y accidentes de vehículos, son causa frecuente de lesiones traumáticas osteotendinosas, neurológicas, y articulares, que afectan la funcionalidad de la mano en menor o mayor grado. Aunque el tratamiento de estas lesiones involucra inmovilización, cirugía, medicinas, y terapia física, se presentan secuelas funcionales importantes a causa del edema, la cicatrización, el dolor y la rigidez articular.

Las órtesis robóticas son un complemento importante del programa de rehabilitación convencional que sobreviene a las lesiones traumáticas y no traumáticas que ocasionan discapacidad de la mano, apoyan la movilización

temprana en caso de trauma y permiten dar continuidad a la movilización pasiva en las enfermedades crónicas.

El exoesqueleto “PRO-Dix” está diseñado para ser implementado como complemento al programa de rehabilitación, su uso puede ser institucional y doméstico, en ambos casos debe ser guiado por fisiatría y fisioterapia.

2.3.3 Solución Planteada:

Específicamente, la innovación tecnológica en salud que plantea el dispositivo biomédico prototipo es la creación de una estructura mecatrónica para permitir la rehabilitación pasiva de la mano complementando la terapia física convencional:

- **Interface Órtesis – Piel:** Consiste en piezas de neopreno en el área de contacto entre las piezas de acrílico con la piel, de las cuales se desprenden correas en cuero que se ajustan a la superficie de la mano mediante velcro, las piezas de neopreno protegen a la piel del calor generado por los servomotores y del roce de la piel con las piezas de acrílico. Los protectores son fabricados de materiales utilizados en la industria textil y ortopédica, tales como cuero, neopreno, velcro e hilo nylon,.
- **Interface Órtesis Pasiva:** El diseño de las piezas de acrílico, palancas y ejes articulares en duraluminio y acero inoxidable, es un diseño exclusivo para el prototipo “PRO-Dix”, consiste en piezas principales de acrílico 3mm que dan soporte a los servomotores, piezas auxiliares de acrílico 3 mm sobre las superficies dorsales de los dedos, piezas palanca de acrílico 3 mm articuladas para obligar al dedo a describir una trayectoria en flexión o extensión según el movimiento del servomotor, ejes fijos en duraluminio paralelos a las articulaciones de los dedos de la mano y ejes móviles en acero inoxidable que se desplazan entre las piezas de acrílico. Cada pieza de acrílico tiene un diseño único y original, se fijan a la mano con los protectores de cuero y neopreno. Solo existe una pieza metálica en la base de la muñeca, fabricada en acero inoxidable, es flexible y permite ubicar el servomotor que dará movimiento a la base del I dedo.
 - La **pieza M1** (pieza en la muñeca 1) está representada en la figura 7, es una estructura metálica de acero inoxidable en forma de C (152), que se ubica en la cara interna de la muñeca, es el soporte para el exoesqueleto del primer dedo. En ella se fija la **pieza M2** (153).

- La **pieza M2** (pieza en la muñeca 2) está representada en la figura 8, es una estructura de acrílico en forma cuadrada (153), está ubicada en la cara interna de la muñeca, se encuentra acoplada a la **pieza M1** (152) mediante hilo nylon, se articula con la **pieza M3** (155).
- La **pieza M3** (pieza en la muñeca 3) está representada en la figura 9, es una estructura de acrílico en forma de C (155), está ubicada en la cara interna de la muñeca, se encuentra articulada con la **pieza M2** (153) mediante un eje en duraluminio tipo remache (154), contiene el **servomotor D1** (156) cuya palanca SD1 (157) se articula con la **pieza MC1** (158) de acrílico permitiendo el giro del primer dedo hacia adentro y afuera de la mano.
- La **pieza MC1** (pieza en el metacarpiano 1) está representada en la figura 10, es una estructura de acrílico en forma irregular (158), está ubicada sobre la cara dorsal del I metacarpiano, está fijada con hilo nylon al protector de neopreno (11) que descansa sobre el dorso el primer metacarpiano, contiene el **servomotor D2** (159) y se articula además en su extremo distal mediante un eje tipo remache pequeño (162) con la **pieza FP1** (161) paralelamente a la articulación metacarpofalángica del I dedo.
- La **pieza FP1** (pieza en la falange proximal 1) está representada en la figura 11, es una estructura de acrílico en forma de L (161), está ubicada en la cara dorsal de la falange proximal del I dedo, está fijada con hilo nylon al protector de neopreno (12) que descansa sobre el dorso de la falange proximal del I dedo, se articula en su extremo distal con la **pieza FD1** (165) a nivel de la articulación interfalángica del I dedo, mediante un eje de duraluminio tipo remache pequeño (164). Además, se articula con la **palanca SD2** (160) del **servomotor D2** (159), para permitir el movimiento de la falange proximal del I dedo.
- La **pieza FD1** (pieza en la falange distal 1) está representada en la figura 12, es una estructura de acrílico en forma de L (165), está ubicada en la cara dorsal de la falange distal del I dedo, está fijada con hilo nylon al protector de neopreno (13) que descansa sobre el dorso de la falange distal del I dedo, se articula en su extremo proximal con la **pieza PD1** (167) para permitir el movimiento de la falange distal del I dedo.
- La **pieza PD1** (palanca en el dedo 1) está representada en la figura 13, es una estructura en acrílico 3mm en forma lineal (167), está ubicada en la cara interna del I dedo, se articula en su extremo proximal con la **pieza MC1** (158) mediante un eje de duraluminio tipo remache pequeño (166), se articula en su extremo distal con la **pieza**

FP1 (161) mediante un eje de acero inoxidable mediano tipo remache (168), y se articula en el estreño distal con la pieza FP1 (161), mediante un eje en duraluminio tipo remache pequeño (169). Para dar un movimiento armónico a las falanges del primer dedo.

- La **pieza MC2** (pieza en el metacarpiano 2) está representada en la figura 14, es una estructura de acrílico 3 mm en forma irregular (170), está ubicada en la cara dorsal de los metacarpianos II y III, está fijada con hilo nylon al protector de neopreno (1), contiene el *servomotor D3* (171), se articula con la pieza FP2 (175) a nivel de la articulación metacarpofalángica del V dedo, mediante un eje en duraluminio tipo remache pequeño (173).
- La **pieza FP2** (pieza en la falange proximal 2) está representada en la figura 15, es una estructura de acrílico 3 mm en forma de L (175), está ubicada en la cara dorsal de las falanges proximales del II y III dedos, está fijada con hilo nylon al protector de neopreno (3), se articula también en su extremo proximal con la palanca SD3 (172) del servomotor D3 (171), mediante un eje de duraluminio tipo remache pequeño (173), además, se articula en su extremo distal con la pieza FD2 (176), mediante un eje de duraluminio tipo remache pequeño (177).
- La **pieza FD2** (pieza en la falange distal 2) está representada en la figura 16, es una estructura de acrílico 3 mm en forma de L (176), está ubicada en la cara dorsal de las falanges distales del II y III dedos, está fijada con hilo nylon al protector de neopreno (2), se articula en su extremo proximal a la pieza PD2 (179) mediante un eje mediano de acero inoxidable tipo remache (181), para permitir el movimiento de las falanges media del II y III dedos.
- La **pieza PD2** (palanca del dedo 2) está representada en la figura 17, es una estructura de acrílico 3 mm en forma lineal (179), está ubicada en la cara externa de las falanges proximal y medial del segundo dedo, paralelo a las articulaciones interfalángicas, se articula en su extremo proximal con la pieza MC2 (170), mediante un eje de duraluminio tipo remache pequeño (178), se articula en su extremo medial con la pieza FP2 (175) mediante un eje en acero inoxidable tipo remache grande (180), y se articula en su extremo distal con la pieza FD2 (176) mediante un eje en duraluminio tipo remache pequeño (181). Con el propósito de reproducir un movimiento armónico del II y III dedos.
- La **pieza MC3** (pieza en el metacarpiano V) está representada en la figura 18, es una estructura de acrílico 3 mm en forma irregular (182), está ubicada en la cara dorsal de los metacarpianos IV y V,

está fijada con hilo nylon al protector de neopreno (6), contiene el *servomotor D4 (183)*, se articula con la pieza FP3 (187) a nivel de la articulación metacarpofalángica del V dedo, mediante un eje en duraluminio tipo remache pequeño (185).

- La **pieza FP3** (pieza en la falange proximal del V dedo) está representada en la figura 19, es una estructura de acrílico 3 mm en forma de L (187), está ubicada en la cara dorsal de las falanges proximales del IV y V dedos, está fijada con hilo nylon al protector de neopreno (7), se articula también en su extremo proximal con la palanca SD4 (184) del servomotor D4 (183), mediante un eje de duraluminio tipo remache pequeño (185), además, se articula en su extremo distal con la pieza FD3 (189), mediante un eje de duraluminio tipo remache pequeño (188).
- La **pieza FD3** (pieza en la falange distal del V dedo) está representada en la figura 20, es una estructura de acrílico 3 mm en forma de L (189), está ubicada en la cara dorsal de las falanges distales del IV y V dedos, está fijada con hilo nylon al protector de neopreno (8), se articula en su extremo proximal a la pieza PD3 (191) mediante un eje mediano de acero inoxidable tipo remache (193), para permitir el movimiento de las falanges media del IV y V dedos.
- La **pieza PD3** (palanca en el dedo V) está representada en la figura 21, es una estructura de acrílico 3 mm en forma lineal (191), está ubicada en la cara externa de las falanges proximal y medial del quinto dedo, paralelo a las articulaciones interfalángicas, se articula en su extremo proximal con la pieza MC3 (182), mediante un eje de duraluminio tipo remache pequeño (190), se articula en su extremo medial con la pieza FP3 (187) mediante un eje en acero inoxidable tipo remache grande (192), y se articula en su extremo distal con la pieza FD3 (189) mediante un eje en duraluminio tipo remache pequeño (193). Con el propósito de reproducir un movimiento armónico del IV y V dedos.
- Los **ejes articulares pequeños** están representados en la figura 23, son remaches doblecabeza de duraluminio, cuya longitud es de 15 mm. Unen los puntos articulares de forma fuerte y segura.
- Los **ejes articulares medianos y grandes** están representados en la figura 22, son remaches con barra de acero inoxidable y cabezas de duraluminio, cuya longitud es de 17 y 19 mm respectivamente.

- **Interface Órtesis Activa:** El diseño de la mecánica articular de la órtesis robótica PRO-Dix es exclusivo para reproducir el movimiento de los dedos con la actuación de los servomotores, El diseño propone una medida de seguridad, ya que las piezas de acrílico se rompen cuando el servomotor supera el ángulo de flexión o extensión anatómico de los dedos, evitando la luxación de los dedos por sobretensiones. El dispositivo permite 7GDL para la mano, contiene ocho (4) servomotores que permite realizar el movimiento de los todos los dedos de la mano de una forma armónica.

El conjunto entre piezas de acrílico, ejes articulares y servomotores, se encuentran fijados a piezas de cuero y neopreno, para sujetar la órtesis mecánica a la mano de una manera confortable, todo el conjunto conforman una órtesis robótica que es una innovación tecnológica aplicable a la salud, en los procesos de rehabilitación pasiva de pacientes con cualquier grado de discapacidad de mano.

2.3.4 Ventaja Técnica que aporta la invención:

Las principales ventajas que ofrece la órtesis robótica frente a los diseños existentes en fase de experimentación son:

- Es una innovación tecnológica, puesto que no existe hasta el momento una órtesis robótica de la mano, con el mecanismo articular presentado por el PRO-Dix, de hecho el exoesqueleto EMMRA-1 tiene una mecánica de movimiento diferente.
- La estructura mecánica del exoesqueleto es un diseño exclusivo y único, ya que hasta el momento no se han creado exoesqueletos de mano con estas características, de hecho el exoesqueleto EMMRA-1 tiene piezas y eslabones con estructura diferente al PRO-Dix.
- Los protectores de neopreno con correas de cuero, están diseñados exclusivamente para proteger la piel del paciente sin restringir los arcos de movimiento articular, es fácilmente puesto al paciente y permite la fabricación de tallas small, medium y large.
- Las piezas de acrílico están diseñadas para dar soporte a los servomotores, de tal forma que si se sobrepasan los límites anatómicos articulares durante la flexión o extensión de los dedos, estas piezas se rompen, para evitar luxaciones de los dedos.
- El mecanismo de piezas articuladas múltiples, garantizan que con un solo servomotor, se logre el movimiento armónico de cada dedo, garantizando el movimiento angular anatómico de las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas proximales.

- El dispositivo es de bajo peso, frente a los exoesqueletos existentes, utiliza servomotores pequeños de alta potencia, incluso con el triple de potencia que los servomotores del exoesqueleto EMMRA-1.
- El dispositivo es sencillo, práctico y seguro, se ha implementado de forma experimentan en pacientes posquirúrgicos de fractura de mano y en pacientes con discapacidad de mano posterior a enfermedad cerebrovascular, es una órtesis que complementa el programa de rehabilitación convencional, apoyando la movilización de la mano tempran y crónicamente.
- El dispositivo está diseñado como equipo biomédico institucional, sin embargo puede ser también utilizado en el ambiente doméstico.

2.4 Descripción de los dibujos: Menciona una reseña sobre los dibujos (si es el caso) utilizando el sistema internacional de unidades SI.

A continuación, realizaremos una descripción gráfica utilizando el sistema internacional SI de la órtesis robótica, todas las gráficas están orientadas a acoplar el exoesqueleto a la mano izquierda, para la mano derecha es suficiente con invertir la orientación de cada pieza o figura. Además, todas las dimensiones registradas en la descripción de los dibujos están basadas en las piezas para órtesis robóticas talla medium (M), en la parte de fabricación de la invención se describen la variación de tamaño en las piezas para las diferentes tallas small (S) y Large (L):

2.4.1 Interface Órtesis - Piel: Consiste piezas de neopreno fijada a las piezas de acrílico mediante hilo nylon, con diseño exclusivo adaptarse a la anatomía de la mano, de las piezas se desprenden correas de cuero que se ajustan con velcro en la cara palmar de la mano, de tal forma que evitan el desplazamiento de la órtesis robótica.

La *figura 1* muestra la cara dorsal de la mano izquierda con la forma trapezoidal del protector de neopreno (1) con dimensiones de 50 mm en las líneas oblicuas y 80 mm en las líneas verticales, este protector se fijará con hilo nylon en la base de la pieza MC2 (170) suprayacente los metacarpianos II y III de la mano. Además, se dibujan la pieza de neopreno (3) que se fijará con hilo nylon en la base de la pieza FP2 (175) y la pieza de neopreno (2) que se fijará con hilo nylon en la base de la pieza FD2 (176). Las correas de cuero (5 y 4) para sujetar la órtesis a la mano.

La *figura 2* muestra la cara ventral de la mano izquierda, encontramos las correas de cuero (4 y 5) uniendose con velcro a nivel de la palma de la mano. Las correas de cuero (4, 5) tienen unas dimensiones de 17 mm de ancho x 70 mm de largo para tallas M.

La *figura 3* muestra la cara dorsal de la mano izquierda con la forma trapezoidal del protector de neopreno (6) con dimensiones de 50 mm en las líneas oblicuas y 80 mm en las líneas verticales, este protector se fijará con hilo nylon en la base de la pieza MC3 (182) suprayacente los metacarpianos II y III de la mano. Además, se dibujan la pieza de neopreno (7) que se fijará con hilo nylon en la base de la pieza FP3 (187) y la pieza de neopreno (8) que se fijará con hilo nylon en la base de la pieza FD3 (189). Las correas de cuero (9 y 10) para sujetar la órtesis a la mano.

La *figura 4* muestra la cara ventral de la mano izquierda, encontramos las correas de cuero (9 y 10) uniéndose con velcro a nivel de la palma de la mano. Las correas de cuero tienen unas dimensiones de 17 mm de ancho x 70 mm de largo para tallas M.

La *figura 5* muestra la cara dorsal de la mano izquierda con la forma trapezoidal del protector de neopreno (11) con dimensiones de 90 mm en las líneas oblicuas y 70 mm en las líneas verticales, este protector se fijará con hilo nylon en la base de la pieza MC1 (158) suprayacente los metacarpianos II y III de la mano. Además, se dibujan la pieza de neopreno (12) que se fijará con hilo nylon en la base de la pieza FP1 (161) y la pieza de neopreno (13) que se fijará con hilo nylon en la base de la pieza FD1 (165). Las correas de cuero (14, 15 y 16) para sujetar la órtesis a la mano.

La *figura 6* muestra la cara ventral de la mano izquierda, encontramos la correa de cuero (14) en forma circular que abarca la superficie que une el I con el II dedo en el pliegue inferior, las correas de cuero (15) que se unen con velcro a nivel de la palma de la mano, y las correas de cuero (16) que se enrollan en la muñeca y se unen con velcro en la cara ventral de la muñeca. Las correas de cuero tienen unas dimensiones de 17 mm de ancho x 70 mm de largo para la talla M,

2.4.2 Interface Órtesis Pasiva: Consiste en un exoesqueleto mecánico ubicado alrededor de la muñeca y en la cara dorsal de la mano. Esta estructura contiene piezas en acrílico para el soporte de los servomotores, las cuales están articuladas paralelo a las articulaciones de los dedos para permitir un movimiento angular de 0 a 90 grados y piezas de acrílico en forma de palancas articuladas en los extremos para permitir un movimiento armónico de los dedos con el movimiento de la palanca de un solo servomotor.

La *figura 7* muestra la **pieza M1** en forma de “C” (152), corresponde a una estructura de acero inoxidable calibre 19, de 20 mm de ancho, con una parte vertical (20) en forma rectangular con 5 cm de altura, continuada por redondez en los extremos (19) de radio 50 mm y por partes rectangulares superior (17) e inferior (18) de 50 mm de longitud. Esta pieza está cubierta por neopreno en la superficie que está en contacto con la piel y de cuero textil en la superficie externa, para fijarse con hilo nylon a la pieza M2 (153) de acrílico como se muestra en la *figura 25*.

La figura 8 muestra la **pieza M2** en forma cuadrada (153), corresponde a una pieza de acrílico de 3 mm de grosor, con dimensiones laterales (21) de 40 x 40 mm, presenta una redondez en las esquinas (23) con un radio de 5 mm. Además un orificio rectangular en el centro (22) de 4 x 10 mm, para articularla a la pieza M3 (155) con un eje tipo remache pequeño (154), como se muestra en la figura 26.

La figura 9 muestra la **pieza M3** en forma de “C” (155), corresponde a una pieza de acrílico de 3 mm de grosor, con una parte rectangular horizontal superior (24) de 40x20 mm, que se continua en uno de sus lados mayores con una parte rectangular vertical lateral (28) de 40x25 mm, que se continua con una parte rectangular horizontal inferior (26) de 40x40 mm, en cuyo centro hay un orificio rectangular (27) de 3x12 mm, todas las esquinas de la pieza tienen una redondez (25) de 5 mm de radio. Esta pieza tiene una prolongación (29) en su parte superior de 15 mm de ancho x 10 mm de altura, para evitar el movimiento del servomotor D1 (155) contenido en su interior, como se muestra en la figura (26,27)

La figura 10 muestra la **pieza MC1** con forma irregular (158), corresponde a una pieza de acrílico de 3 mm de grosor, cuya base rectangular horizontal (35) con dimensiones de 60x30 mm, se continua con la parte lateral rectangular oblicua (45) con dimensiones de 40x30 mm, está inclinada a 70° y contiene un orificio central (30) de 10 mm de diámetro, donde se articula con el eje del servomotor D1 (155) como se muestra en la figura 28. Tiene una parte lateral rectangular vertical (34) con dimensiones de 20x30 mm, que se continua con la parte superior rectangular horizontal (32), con dimensiones de 15x30 mm. La base rectangular se prolonga con una extensión redondeada de 10 x 15 mm (36). La parte lateral rectangular vertical (40) con dimensiones de 60x15mm, tiene un agujero de 4 mm (39) donde se articula con la pieza FP1 (169) mediante un eje tipo remache pequeño (163) como se muestra en las figuras 30 a 34, y tiene unos agujeros de 1 mm (43) para fijarla al protector de neopreno (11), todas las esquinas de la pieza se encuentran con una redondez (37) de 5 mm de radio. La base rectangular se continua con un area rectangular (36) inclinada 30 grados. La parte vertical inferior (40) se continua en su extremo proximal con una parte semicircular (42) con radio 5 mm que tiene en su prolongación más externa un agujero de 4 mm (41), con los que se articula a la pieza PD1 (167) mediante un eje tipo remache pequeño (166) como se muestra en las figuras 30 a 34, además, la pieza MC1 (158) contiene al servomotor D2 (159) como se muestra en la figura 32 a 34. Todas las partes se continúan mediante superficies redondeadas (31, 44, 38) para dar un mejor aspecto a la pieza.

La figura 11 muestra la **pieza FP1** con forma de “L” (169), corresponde a una pieza de acrílico de 3 mm de grosor, cuya base rectangular horizontal redondeada (49) con dimensiones de 25x55 mm, tiene los orificios de 1 mm (51) para fijarse con hilo nylon al protector de neopreno (12). La base continua con una inclinación (48) de 7 mm de radio, hasta la parte lateral vertical (47) con una altura de 15 mm y una longitud de 75 mm, en su extremo proximal tiene un orificio rectangular (55)

de 4x17 mm para articularse con la palanca (160) del servomotor D2 (159) mediante un eje tipo remache pequeño (162) como se muestra en las figuras 30 a 34, tiene un agujero de 4 mm (54) para articularse con la pieza MC1 (158) mediante un eje tipo remache pequeño (163) tal como se muestra en las figuras 30 a 34, tiene un agujero rectangular (53) de 22x4 mm, para articularse con la pieza PD1 (167) mediante un eje tipo remache mediano (168) como se muestra en las figuras 32 a 34, y tiene un agujero de 4 mm (52) para articularse con la pieza FD1 (165) mediante el eje tipo remache pequeño (164) como se muestra en las figuras 30 a 34. Todas las esquinas de la pieza se encuentran con una redondez (50) de 5 mm de radio. Esta pieza se encarga de forzar el movimiento de la falange proximal del I dedo.

La figura 12 muestra la **pieza FD1** con forma de “L” (1), corresponde a una pieza de acrílico de 3 mm de grosor, cuya base rectangular horizontal redondeada (59) con dimensiones de 15x33 mm, tiene los orificios de 1 mm (58,60) para fijarse con hilo nylon al protector de neopreno (13). La base continua con una inclinación (61) de 5 mm de radio, hasta la parte lateral vertical (47) con una altura de 15 mm y una longitud de 50 mm, en su extremo proximal tiene un orificio rectangular (64) de 4x12 mm para articularse con la pieza PD1 (169) mediante un eje tipo remache mediano (168) como se muestra en las figuras 32 a 34, tiene un agujero de 4 mm (63) para articularse con la pieza FP1 (161) mediante un eje tipo remache pequeño (164) tal como se muestra en las figuras 31 a 34. El extremo proximal de la pieza se encuentran con una redondez (56) de 7,5 mm de radio y el extremo distal (62) con una redondez de 5 mm de radio. Esta pieza se encarga de forzar el movimiento de la falange distal del I dedo.

La figura 13 muestra la **pieza PD1** con forma lineal (167), corresponde a una pieza de acrílico de 3 mm de grosor, cuya base rectangular horizontal (67) con dimensiones de 15x65 mm, tiene un agujero (66) de 4 mm de diámetro para articularse a la pieza MC1 (158) mediante un eje tipo remache pequeño (166) como se muestra en la figura 32 a 34. tiene un agujero (68) de 4 mm de diámetro para articularse a la pieza FP1 (161) mediante un eje tipo remache grande (168) como se muestra en la figura 32 a 34, tiene un agujero (69) de 4 mm de diámetro para articularse a la pieza FD1 (165) mediante un eje tipo remache mediano (169) como se muestra en la figura 32 a 34. El extremo proximal cuenta con una redondez (65) de 5 mm de radio y el extremo distal con una redondez (70) de 7,5 mm de radio. La pieza PD1 (167) se encuentra articulada con todas las piezas MC1, FP1 y FD1, para transmitir el movimiento de la palanca (160) del servomotor D2 (159) y garantizar el movimiento armónico de las falanges del I dedo como se muestra en las figuras figura 32 a 34.

La figura 14 muestra la **pieza MC2** con forma irregular (170), corresponde a una pieza de acrílico de 3 mm de grosor, cuya base rectangular horizontal (74) con dimensiones de 40x30 mm, se continua con la parte lateral rectangular superior vertical (73) con dimensiones de 40x25 mm, se continua con la parte horizontal rectangular superior (71) con dimensiones de 40x20 mm, que se continua con una

parte en forma de pestaña lateral vertical (72) de 15x10 mm para evitar el desplazamiento del servomotor D3 (171). Tiene una parte lateral rectangular vertical (76) con dimensiones de 40x30 mm, que tiene un agujero de 4 mm (77) donde se articula con la pieza FP2 (175) mediante un eje tipo remache pequeño (174) como se muestra en las figuras 36 a 40, y tiene unos agujeros de 1 mm (80) para fijarla al protector de neopreno (1), todas las esquinas de la pieza se encuentran con una redondez de 5 mm de radio. La unión de las diferentes partes es redondeada (75, 81) con un radio de 7 mm y 5 mm respectivamente para dar un aspecto más estético a la pieza. La parte vertical inferior (76) se continua en su extremo proximal con una parte semicircular (79) con radio 5 mm que tiene en su prolongación más externa un agujero de 4 mm (78), con los que se articula a la pieza PD2 (179) mediante un eje tipo remache pequeño (178) como se muestra en las figuras 38 a 40, además, la pieza MC2 (170) contiene al servomotor D3 (171) como se muestra en la figura 35 a 40.

La figura 15 muestra la **pieza FP2** con forma de “L” (175), corresponde a una pieza de acrílico de 3 mm de grosor, cuya base rectangular horizontal redondeada (87) con dimensiones de 25x60 mm, tiene los orificios de 1 mm (84,85) para fijarse con hilo nylon al protector de neopreno (3). La base continua con una inclinación (83) de 5 mm de radio, hasta la parte lateral vertical (82) con una altura de 15 mm y una longitud de 80 mm, en su extremo proximal tiene un orificio rectangular (92) de 4x17 mm para articularse con la palanca (172) del servomotor D3 (171) mediante un eje tipo remache pequeño (173) como se muestra en las figuras 36 a 40, tiene un agujero de 4 mm (91) para articularse con la pieza MC2 (170) mediante un eje tipo remache pequeño (174) tal como se muestra en las figuras 36 a 40, tiene un agujero rectangular (90) de 22x4 mm, para articularse con la pieza PD2 (179) mediante un eje tipo remache grande (180) como se muestra en las figuras 38 a 40, y tiene un agujero de 4 mm (89) para articularse con la pieza FD2 (176) mediante el eje tipo remache mediano (181) como se muestra en las figuras 36 a 40. Todas las esquinas de la pieza se encuentran con una redondez (86,88) de 5 mm de radio, el extremo proximal (93) se encuentra con una redondez de 7,5 mm de radio. Esta pieza se encarga de forzar el movimiento de las falanges proximales del II y III dedos.

La figura 16 muestra la **pieza FD2** con forma de “L” (176), corresponde a una pieza de acrílico de 3 mm de grosor, cuya base rectangular horizontal redondeada (97) con dimensiones de 15x55 mm, tiene los orificios de 1 mm (96) para fijarse con hilo nylon al protector de neopreno (2). La base continua con una inclinación (95) de 5 mm de radio, hasta la parte lateral vertical (94) con una altura de 15 mm y una longitud de 55 mm, en su extremo proximal tiene un orificio rectangular (101) de 4x15 mm para articularse con la pieza PD2 (179) mediante un eje tipo remache mediano (181) como se muestra en las figuras 38 a 40, tiene un agujero de 4 mm (100) para articularse con la pieza FP2 (175) mediante un eje tipo remache pequeño (177) tal como se muestra en las figuras 37 a 40. El extremo proximal de la pieza se encuentran con una redondez (102) de 5 mm de radio y el extremo

distal (98) con una redondez de 7,5 mm de radio. Esta pieza se encarga de forzar el movimiento de las falanges distales del II y III dedos.

La figura 17 muestra la **pieza PD2** con forma lineal (179), corresponde a una pieza de acrílico de 3 mm de grosor, cuya base rectangular horizontal (105) con dimensiones de 15x82 mm, tiene un agujero (104) de 4 mm de diámetro para articularse a la pieza MC2 (170) mediante un eje tipo remache pequeño (178) como se muestra en la figura 38 a 40. tiene un agujero (106) de 4 mm de diámetro para articularse a la pieza FP2 (175) mediante un eje tipo remache grande (180) como se muestra en la figura 38 a 40, tiene un agujero (107) de 4 mm de diámetro para articularse a la pieza FD2 (176) mediante un eje tipo remache mediano (181) como se muestra en la figura 38 a 40. El extremo proximal cuenta con una redondez (103) de 7,5 mm de radio y el extremo distal con una redondez (108) de 5 mm de radio. La pieza PD2 (179) se encuentra articulada con todas las piezas MC2, FP2 y FD2, para transmitir el movimiento de la palanca (172) del servomotor D3 (171) y garantizar el movimiento armónico de las falanges del II y III dedos como se muestra en las figuras figura 38 a 40.

La figura 18 muestra la **pieza MC3** con forma irregular (182), corresponde a una pieza de acrílico de 3 mm de grosor, cuya base rectangular horizontal (119) con dimensiones de 40x30 mm, se continua con la parte lateral rectangular superior vertical (111) con dimensiones de 40x25 mm, se continua con la parte horizontal rectangular superior (110) con dimensiones de 40x20 mm, que se continua con una parte en forma de pestaña lateral vertical (109) de 15x10 mm para evitar el desplazamiento del servomotor D4 (183). Tiene una parte lateral rectangular vertical (113) con dimensiones de 40x30 mm, que tiene un agujero de 4 mm (116) donde se articula con la pieza FP3 (187) mediante un eje tipo remache pequeño (186) como se muestra en las figuras 42 a 46, y tiene unos agujeros de 1 mm (112) para fijarla al protector de neopreno (6), todas las esquinas de la pieza se encuentran con una redondez de 5 mm de radio. La unión de las diferentes partes es redondeada (120, 118) con un radio de 5 mm y 7 mm respectivamente para dar un aspecto más dinámico a la pieza. La parte vertical inferior (113) se continua en su extremo proximal con una parte semicircular (114) con radio 5 mm que tiene en su prolongación más externa un agujero de 4 mm (115), con los que se articula a la pieza PD3 (191) mediante un eje tipo remache pequeño (190) como se muestra en las figuras 44 a 46, además, la pieza MC3 (182) contiene al servomotor D4 (183) como se muestra en la figura 41 a 46.

La figura 19 muestra la **pieza FP3** con forma de "L" (187), corresponde a una pieza de acrílico de 3 mm de grosor, cuya base rectangular horizontal redondeada (122) con dimensiones de 25x50 mm, tiene los orificios de 1 mm (121) para fijarse con hilo nylon al protector de neopreno (7). La base continua con una inclinación (127) de 5 mm de radio, hasta la parte lateral vertical (128) con una altura de 15 mm y una longitud de 70 mm, en su extremo proximal tiene un orificio rectangular (123) de 4x17 mm para articularse con la palanca (184) del servomotor D4 (183) mediante un eje tipo remache pequeño (185) como se muestra en las figuras 42 a 46, tiene un agujero de 4 mm (124) para articularse con la pieza MC3 (182)

mediante un eje tipo remache pequeño (190) tal como se muestra en las figuras 44 a 46, tiene un agujero rectangular (125) de 20x4 mm, para articularse con la pieza PD3 (191) mediante un eje tipo remache grande (192) como se muestra en las figuras 44 a 46, y tiene un agujero de 4 mm (126) para articularse con la pieza FD3 (189) mediante el eje tipo remache mediano (193) como se muestra en las figuras 44 a 420. Todas las esquinas de la pieza se encuentran con una redondez de 5 mm de radio, el extremo proximal se encuentra con una redondez de 7,5 mm de radio y el extremo distal con una redondez de 5 mm de radio. Esta pieza se encarga de forzar el movimiento de las falanges proximales del IV y V dedos.

La figura 20 muestra la **pieza FD3** con forma de “L” (189), corresponde a una pieza de acrílico de 3 mm de grosor, cuya base rectangular horizontal redondeada (134) con dimensiones de 15x50 mm, tiene los orificios de 1 mm (129) para fijarse con hilo nylon al protector de neopreno (8). La base continua con una inclinación (130) de 5 mm de radio, hasta la parte lateral vertical (131) con una altura de 15 mm y una longitud de 50 mm, en su extremo proximal tiene un orificio rectangular (132) de 4x15 mm para articularse con la pieza PD3 (191) mediante un eje tipo remache mediano (190) como se muestra en las figuras 44 a 46, tiene un agujero de 4 mm (133) para articularse con la pieza FP3 (187) mediante un eje tipo remache pequeño (188) tal como se muestra en las figuras 43 a 46. Los extremos proximal y distal de la pieza se encuentran con una redondez de 5 mm de radio. Esta pieza se encarga de forzar el movimiento de las falanges distales del IV y V dedos.

La figura 21 muestra la **pieza PD3** con forma lineal (191), corresponde a una pieza de acrílico de 3 mm de grosor, cuya base rectangular horizontal (137) con dimensiones de 15x70 mm, tiene un agujero (140) de 4 mm de diámetro para articularse a la pieza MC3 (182) mediante un eje tipo remache pequeño (190) como se muestra en la figura 44 a 46. tiene un agujero (138) de 4 mm de diámetro para articularse a la pieza FP3 (187) mediante un eje tipo remache grande (192) como se muestra en la figura 44 a 46, tiene un agujero (136) de 4 mm de diámetro para articularse a la pieza FD3 (189) mediante un eje tipo remache mediano (193) como se muestra en la figura 44 a 46. El extremo proximal cuenta con una redondez (140) de 7,5 mm de radio y el extremo distal con una redondez (135) de 5 mm de radio. La pieza PD3 (191) se encuentra articulada con todas las piezas MC2, FP2 y FD2, para transmitir el movimiento de la palanca (184) del servomotor D4 (183) y garantizar el movimiento armónico de las falanges del IV y V dedos como se muestra en las figuras 44 a 46.

La figura 22 muestra un eje tipo remache mediano o grande, cuenta con cabeza en duraluminio (141) con 10 mm de diámetro x 2 mm de altura, una barra metálica (142) fabricada en acero inoxidable con dimensiones 4 mm de grosor x 17 mm de altura (mediano) o 19 mm de altura (grande), la barra posee una cabeza en su base (143) también de acero inoxidable, con 10 mm de diámetro x 2 mm de altura. La cabeza de duraluminio se ajusta a la barra central para permitir un eje de movimiento circular y asegurar las piezas de acrílico articuladas, tal como se muestra en las figuras 25 a 48.

La figura 23 muestra un eje tipo remache pequeño, cuenta con cabeza en duraluminio (144) con 10 mm de diámetro x 2 mm de altura, una barra en duraluminio (145) con dimensiones 3 mm de grosor x 15 mm de altura, la barra posee una cabeza de duraluminio en su base (146) con 10 mm de diámetro x 2 mm de altura. La cabeza de duraluminio se ajusta a la barra central para permitir un eje de movimiento circular y asegurar las piezas de acrílico articuladas, tal como se muestra en las figuras 25 a 48.

La figura 24 corresponde a los servomotores con un cuerpo (150) de dimensiones 39,88 x 19,81 x 36,83 mm; una salida de cables interconectores (151), una eje de movimiento (147) y una palanca que transmite el movimiento (149), la cual tiene unos orificios de 2 mm (48) para articularse con las piezas de acrílico.

2.2.3 Interface Órtesis Activa: Consiste en la implementación de servomotores Hitec Ultra y Mega torque, los cuales son ensamblados en las piezas de acrílico articuladas a la palanca del servomotor, para generar el movimiento en flexión y extensión de los dedos de forma armónica, cada servomotor tiene una palanca que transmite la fuerza, vector y velocidad de movimiento a la órtesis robótica, como se muestra en las siguientes figuras:

La figura 25 y 26 muestran el ensamblaje de las piezas de la muñeca, la pieza M1 (152) unida a la pieza M2 (153), además el eje tipo remache pequeño (154) que articula las piezas M2 (153) y M3 (155).

La figura 27 muestra el ensamblaje de las piezas de la muñeca, la pieza M1 (152) unida a la pieza M2 (153), la cual está articula a las piezas M3 (155), además el servomotor D1 (156) ensamblado en la pieza M3 (155) y el eje del servomotor D1 (147). Esta forma de articular las piezas, permite que el servomotor pueda desplazarse con los movimientos de la muñeca hacia arriba, abajo, adelante y atrás.

La figura 28 muestra el ensamblaje de las piezas de la muñeca, la pieza M1 (152) unida a la pieza M2 (153), la cual está articula a las piezas M3 (155), además el servomotor D1 (156) ensamblado en la pieza M3 (155) y la palanca del servomotor D1 (157) ensamblada a la pieza MC1 (158), esta articulación permite que la palanca (157) del servomotor D1 (156) realice el giro de la base del I dedo hacia adentro y afuera de la mano.

La figura 29 muestra el ensamblaje de las piezas de la muñeca, la pieza M1 (152) unida a la pieza M2 (153), la cual está articula a las piezas M3 (155), además el servomotor D1 (156) ensamblado en la pieza M3 (155) y la palanca del servomotor D1 (157) ensamblada a la pieza MC1 (158), además se observa el Servomotor D2 ensamblado en la pieza MC1 (158).

La figura 30 muestra la pieza MC1 (158) conteniendo el servomotor D2 (159) y la palanca (160) del servomotor D2 (159) articulada a la pieza FP1 (161), en el

agujero rectangular (55) mediante el eje tipo remache pequeño (162), esta articulación permite el desplazamiento de la pieza FP1 (161) de 0 grados en extensión del dedo y de 90 grados en flexión del dedo. Además muestra la pieza MC1 (158) articulada con la pieza FP1 (161) mediante el eje tipo remache (163) estableciendo un eje fijo paralelo a la articulación metacarpofalángica del I dedo, para permitir un movimiento anatómico de dicha articulación.

La figura 31 muestra además de lo descrito para la figura 30, la pieza FD1 (165) articulada con la pieza FP1 (161) mediante el eje tipo remache pequeño (164), también se observan los agujeros rectangulares (55,53, 64).

La figura 32 muestra además de lo descrito para las figuras 30 y 31, la pieza PD1 (167) ensamblada a las piezas en tres puntos articulares. La primera articulación de la pieza PD1 (167) con la pieza MC1 (158) mediante el eje tipo remache pequeño (166) establece una unión fija que permite un movimiento angular de la pieza PD1 (167); la segunda articulación de la pieza PD1 (167) con la pieza FP1 (161) mediante el eje tipo remache grande (168) que permite el desplazamiento de la pieza PD1 (167) sobre la pieza FP1 (161) de tal forma que sigue el movimiento angular generado por la palanca (160) del servomotor D2 (159); la tercera articulación de la pieza PD1 (167) con la pieza FD1 (165) mediante el eje tipo remache mediano (169) ocasionando que la pieza PD1 (167) desplace angularmente la pieza FD1 (165) ocasionando un movimiento angular de la falange distales del I dedo.

La figura 33 y 34 muestran además de lo descrito para las figuras 30 a 32, la mecánica articular paralela a las articulaciones metacarpofalángica e interfalángica proximal del I dedo, y la pieza PD1 (167) articulada con las demás piezas para generar un movimiento armónico en flexión de las falanges proximal y distal del I dedo.

La figura 35 muestra la pieza MC2 (170) que contiene el servomotor D3 (171), además la palanca (172) del servomotor D3 (171).

La figura 36 muestra además de lo descrito para la figura 35, la pieza FP2 (175) articulada en dos puntos a la pieza MC2 (170), la primera articulación de la pieza FP2 (175) es en el orificio rectangular (92) donde se integra a la palanca (172) del servomotor D3 (171) mediante un eje tipo remache pequeño (173); la segunda articulación es paralela a la articulación metacarpofalángica del II dedo, la pieza FP2 (175) con la pieza MC2 (170) mediante el eje tipo remache pequeño (174), esta doble articulación permite a la palanca (172) del servomotor D3 (171) la pieza FP2 (175) en forma angular, obligando a la pieza fp2 (175) a desplazar el II y III dedos en flexión y extensión.

La figura 37 muestra además de lo descrito para la figura 36, la pieza FD2 (176) articulada a la pieza FP2 (175) mediante un eje tipo remache pequeño (177), esta articulación es paralela a la articulación interfalángica del II dedo.

La figura 38 muestra además de lo descrito para la figura 35 a 37, la pieza PD2 (179) ensamblada a las piezas en tres puntos articulares. La primera articulación de la pieza PD2 (179) con la pieza MC2 (170) mediante el eje tipo remache pequeño (178) establece una unión fija que permite un movimiento angular de la pieza PD2 (179); la segunda articulación de la pieza PD2 (179) con la pieza FP2 (175) mediante el eje tipo remache grande (180) que permite el desplazamiento de la pieza PD2 (179) sobre la pieza FP2 (175) de tal forma que sigue el movimiento angular generado por la palanca (172) del servomotor D3 (171); la tercera articulación de la pieza PD2 (179) con la pieza FD2 (176) mediante el eje tipo remache mediano (181) ocasionando que la pieza PD2 (179) desplace angularmente la pieza FD2 (176) ocasionando un movimiento angular de las falanges distales del II y III dedos.

La figura 39 y 40 muestran además de lo descrito para las figuras 35 a 38, la mecánica articular paralela a las articulaciones metacarpofalángica e interfalángica proximal del II dedo, y la pieza PD2 (179) articulada con las demás piezas para generar un movimiento armónico en flexión de las falanges proximal y distal del II y III dedos.

La figura 41 muestra la pieza MC3 (182) que contiene el servomotor D4 (183), además la palanca (184) del servomotor D4 (183).

La figura 42 muestra además de lo descrito para la figura 41, la pieza FP3 (187) articulada en dos puntos a la pieza MC3 (182), la primera articulación de la pieza FP3 (187) es en el orificio rectangular (123) donde se integra a la palanca (184) del servomotor D4 (183) mediante un eje tipo remache pequeño (185); la segunda articulación es paralela a la articulación metacarpofalángica del V dedo, la pieza FP3 (187) con la pieza MC3 (182) mediante el eje tipo remache pequeño (186), esta doble articulación permite a la palanca (184) del servomotor D4 (183) desplazar la pieza FP3 (187) en forma angular, obligando a la pieza FP3 (187) a desplazar el IV y V dedos en flexión y extensión.

La figura 43 muestra además de lo descrito para la figura 42, la pieza FD3 (189) articulada a la pieza FP3 (187) mediante un eje tipo remache pequeño (188), esta articulación es paralela a la articulación interfalángica del V dedo.

La figura 44 muestra además de lo descrito para la figura 41 a 43, la pieza PD3 (191) ensamblada a las piezas en tres puntos articulares. La primera articulación de la pieza PD3 (191) con la pieza MC3 (182) mediante el eje tipo remache pequeño (190) establece una unión fija que permite un movimiento angular de la pieza PD3 (191); la segunda articulación de la pieza PD3 (191) con la pieza FP3 (187) mediante el eje tipo remache grande (192) que permite el desplazamiento de la pieza PD3 (191) sobre la pieza FP3 (187) de tal forma que sigue el movimiento angular generado por la palanca (184) del servomotor D4 (183); la tercera articulación de la pieza PD3 (191) con la pieza FD3 (189) mediante el eje tipo remache mediano (193) ocasionando que la pieza PD3 (191) desplace

angularmente la pieza FD3 (189) ocasionando un movimiento angular de las falanges distales del IV y V dedos.

La figura 45 y 46 muestran además de lo descrito para las figuras 41 a 44, la mecánica articular paralela a las articulaciones metacarpofalángica e interfalángica proximal del IV y V dedos, y la pieza PD3 (191) articulada con las demás piezas para generar un movimiento armónico en flexión de las falanges proximal y distal del IV y V dedos.

Las figuras 47 y 48 muestran la cara dorsal y ventral del PRO-Dix respectivamente, integrado para la mano izquierda de los pacientes, recordamos que para las piezas de la mano derecha solo se requiere invertir la orientación de las piezas en espejo. El PRO-Dix está conformado entonces por las órtesis robóticas PRO-Dix I (para el I dedo), PRO-Dix II (para los dedos II y III) y PRO-Dix V (para los dedos IV y V. Aunque lo usual es que los pacientes requieran solo una de las tres órtesis, es posible que en tráumas múltiples o en lesiones neuromusculares por encima de la mano, se requiera una combinación de las órtesis o la totalidad de las mismas integrada sobre una protección de neopreno (194) de la cual se desprenderán correas de cuero para sujetarla a la mano.

2.5 Descripción para fabricar la invención

La mejor manera conocida para llevar a la práctica la invención, es fabricar los componentes de la órtesis robótica por separado, para luego ensamblarlos siguiendo los pasos descritos a continuación:

2.5.1 Fabricación de la Interface Órtesis-Piel: Las personas tienen diferentes dimensiones anatómicas en las manos, sin embargo, consideramos es posible para las órtesis robóticas la fabricación industrial de las piezas de neopreno y correas de cuero, elaborando las tallas estándar identificadas por las siglas de la palabra inglesa (S: small - pequeña, M: medium - mediana y L: long - grande).

La funcionalidad de los protectores de neopreno es exclusiva para el área de la salud, el proceso de fabricación debe garantizar las reglas de diseño propuestas en la invención:

- Seguridad del paciente: Asegurar la protección de todas las áreas de piel expuestas al contacto mecánico con la órtesis robótica.
- Adaptación anatómica: Asegurar que las superficies articulares de la mano puedan moverse de cero grados en extensión hasta 90 grados en flexión.
- Diseño de Tallas: Se elaborarán en las tallas S, M y L.

Las dimensiones en milímetros (mm) según medidas SI para la fabricación de los protectores de neopreno y las correas de cuero son:

- La pieza de neopreno (1) es trapezoidal con dimensiones de 50 mm en las líneas oblicuas y 80 mm en las líneas verticales, tiene dimensiones estandar para todas las tallas.
 - Las piezas de neopreno (2, 3) son rectangulares con dimensiones de 15 mm de ancho x 45 mm de largo para tallas S, de 17 mm de ancho x 55 mm de largo para tallas M, y de 20 mm de ancho x 65 mm de largo para tallas L.
 - La pieza de neopreno (6) es trapezoidal con dimensiones de 50 mm en las líneas oblicuas y 80 mm en las líneas verticales, tiene dimensiones estandar para todas las tallas.
 - La pieza de neopreno (7, 8) son rectangulares con dimensiones de 15 mm de ancho x 40 mm de largo para tallas S, de 17 mm de ancho x 50 mm de largo para tallas M, y de 20 mm de ancho x 60 mm de largo para tallas L.
 - La pieza de neopreno (11) con dimensiones de 90 mm en las líneas oblicuas y 70 mm en las líneas verticales, tiene dimensiones estandar para todas las tallas.
 - Las piezas de neopreno (12, 13) son rectangulares con dimensiones de 12 mm de ancho x 25 mm de largo para tallas S, de 15 mm de ancho x 30 mm de largo para tallas M, y de 17 mm de ancho x 35 mm de largo para tallas L.
 - Las correas de cuero (4, 5) tienen unas dimensiones de 15 mm de ancho x 50 mm de largo para tallas S, de 17 mm de ancho x 70 mm de largo para tallas M, y de 20 mm de ancho x 90 mm de largo para tallas L.
 - Las correas de cuero (9 y 10) tienen unas dimensiones de 15 mm de ancho x 50 mm de largo para tallas S, de 17 mm de ancho x 70 mm de largo para tallas M, y de 20 mm de ancho x 90 mm de largo para tallas L.
 - La correa de cuero (14) en forma semicircular tiene unas dimensiones de 15 mm de ancho x 40 mm de largo para tallas S, de 17 mm de ancho x 50 mm de largo para tallas M, y de 20 mm de ancho x 60 mm de largo para tallas L.
 - Las correas de cuero (15) tienen unas dimensiones de 15 mm de ancho x 170 mm de largo para tallas S, de 17 mm de ancho x 200 mm de largo para tallas M, y de 20 mm de ancho x 230 mm de largo para tallas L.
 - Las correas de cuero (16) tienen unas de 15 mm de ancho x 200 mm de largo para tallas S, de 17 mm de ancho x 250 mm de largo para tallas M, y de 20 mm de ancho x 300 mm de largo para tallas L.
- Recomendaciones Generales:
 - Todas las superficies dorsales de los dedos que entren en contacto con las piezas de acrílico deben estar cubiertas por protectores de neopreno.
 - Las piezas rectangulares de cuero textil en forma de correas ajustarán los protectores de neopreno a la cara palmar de la mano.

- Se deben realizar vainas de cuero textil para cubrir todos los cables que salen de cada servomotor, hasta su llegada al nódulo de interconexión.
- La unión de las piezas de cuero y neopreno se debe realizar mediante costura en máquina de coser cuero, utilizando hilo nylon color negro, para las superficies del guante que deben abrir y cerrar, se cose tela velcro en sus extremos para garantizar esta propiedad.
- Se recomienda filetear los bordes de las piezas de neopreno, se utiliza una fileteadora industrial con puntada de seguridad.
- Todos los lados de las piezas de cuero se debe doblar 10 mm, pegarlos con pegante para cuero y coserlos en la máquina de coser cuero. Esto le dará mayor duración a la pieza y una apariencia estética mejor.

2.5.2 Fabricación de la órtesis pasiva: Las piezas de acrílico se fabrican en las siguientes fases:

- **Primera fase (Dibujo plano):** Dibujar los moldes de las piezas de acrílico en dos dimensiones (X,Y), se recomienda dibujarlas en el software Autocad para que pueda ser leído por los procesadores de las máquinas cortadoras de acrílico. Las dimensiones de las piezas corresponden exactamente a las descritas previamente, se deben agrupar en un solo archivo de tal forma que todas las piezas ocupen el menor espacio posible en un área determinada, sin tocarse sus bordes.
- **Segunda fase (Lámina de acrílico):** Conseguir las piezas de acrílico 3 mm en las dimensiones necesarias para que todas las piezas dibujadas puedan ser cortadas de la misma lámina y en el mismo proceso, esto evitará pérdida de tiempo y ahorrará en costos.
- **Tercera fase (Corte laser):** Programar la máquina de corte laser con los dibujos realizados, teniendo en cuenta que cada unidad de dibujo corresponde a 1 mm, centrar la lámina de acrílico 3 mm en el área de trabajo de la máquina cortadora laser para ahorrar costos.
- **Cuarta fase (Trazado lineal del acrílico):** Realizar un trazado lineal con un bisturí sobre las piezas de acrílico, realizando un trazado muy fino sobre los lados donde se realizara la deformación y el doblaje de la pieza. Debe evitarse trazados profundos por que puede romperse la pieza.
- **Cuarta fase (Calentamiento y Deformación):** Tomar las piezas de acrílico para darles su forma final en 3D, para ello utilizamos una resistencia eléctrica que genere temperaturas hasta 75 grados centígrados, recomendamos calentar la pieza de acrílico en las líneas trazadas para doblaje, una vez la pieza se hace blanda en estos puntos, se puede doblar y dar la forma que deseamos, tal como se encuentran dibujadas las piezas en el capítulo de dibujos.

- **Quinta fase (Pulimiento de bordes):** Debemos pulir los bordes de todas las piezas hasta tener una superficie roma, sin rugosidades ni filos que puedan cortar la piel del paciente. Sugerimos realizar el proceso con un bistury pasandolo por los bordes de la pieza de forma tangencial y oblicua, además, recomendamos evitar pulidoras industriales o lijas, para evitar que las piezas se rayen.
- El acrílico brinda los siguientes beneficios: permite deformarse para adaptar la pieza a la anatomía de la mano del paciente, las piezas se fracturan en los puntos de doblaje cuando los servomotores sobrepasan los límites articulares anatómicos de los dedos, se logra un aspecto artístico al diseño.
- Los tamaños de las piezas de acrílicos varían según la talla estandar para pacientes small (S), medium (M) y large (L), recordamos que todas las dimensiones en la descripción de las figuras, corresponden a la Talla medium (M); Sugerimos para las tallas S disminuir el tamaño de las piezas en 10 mm solo en su longitud y no en el ancho; Igualmente sugerimos para las tallas L aumentar el tamaño de las piezas en 10 mm solo en su longitud y no en el ancho.
- **NOTA:** Para la pieza M1 en acero inoxidable recomendamos la fabrique una empresa que trabaje con metales pesados y pueda cortar y dar el acabado que requerimos.

2.5.3 Fabricación de la órtesis activa: Una vez tengamos elaboradas las piezas de acrílico en 3D, procederemos a ensamblarlas como se muestran en el capítulo de dibujos.

- La órtesis robótica PRO-Dix I corresponde a la estructura mecatrónica que dará movimiento al I dedo de la mano, para ello ensamblaremos las piezas M1 (152), M2 (153), M3 (155), MC1 (158), FP1 (161), FD1 (165) y PD1 (167), además como se observa en las figuras 25 a 34, según la descripción de los dibujos realizada previamente. Los servomotores se adhieren a las superficies internas de las piezas donde se encuentran contenidos, mediante cinta aislante transparente con adhesivo en ambas caras.
- La órtesis robótica PRO-Dix II corresponde a la estructura mecatrónica que dará movimiento al II y III dedo de la mano, para ello ensamblaremos las piezas MC2 (170), FP2 (175), FD1 (176) y PD1 (179), como se observa en las figuras 35 a 40, según la descripción de los dibujos realizada previamente. Los servomotores se adhieren a las superficies internas de las piezas donde se encuentran contenidos, mediante cinta aislante transparente con adhesivo en ambas caras.

- La órtesis robótica PRO-Dix III corresponde a la estructura mecatrónica que dará movimiento al IV y V dedo de la mano, para ello ensamblaremos las piezas MC3 (182), FP3 (187), FD3 (189) y PD3 (190), como se observa en las figuras 41 a 46, según la descripción de los dibujos realizada previamente. Los servomotores se adhieren a las superficies internas de las piezas donde se encuentran contenidos, mediante cinta aislante transparente con adhesivo en ambas caras.
- La órtesis robótica PRO-Dix corresponde a la estructura mecatrónica que dará movimiento a todos los dedos de la mano o a la combinación de dos de las anteriores órtesis. Es necesaria en caso de rehabilitación para diferentes dedos de la mano, como en el caso de politraumas de mano, lesiones neurológicas centrales o periféricas y lesiones musculotendinosas en miembro superior. En las figuras 47 y 48 se observa como es el enlace y la ubicación de las órtesis por separado, formando en conjunto una órtesis completa para toda la mano.

2.5.4 Ensamblaje de componentes electrónicos: La órtesis robótica cuenta con servomotores, diodos LED indicadores, nodos de interconexión, cables ribbon, cables de cobre con cubierta plástica calibre 18, tarjeta electrónica arduino mega, resistencias de 10 K, fuente de alimentación conmutada, ventilador de 12V pequeño para la fuente, y cables de potencia de uso hospitalario.

- Existe un nodo de interconexión a nivel de la muñeca, es una tarjeta electrónica pequeña que recibe todos los cables de los servomotores (cable rojo – voltaje positivo, cable negro – voltaje negativo y cable amarillo – señal de control) y los conectores positivo – negativo de los indicadores LED; integra estos componentes a los cables que van hacia el controlador electrónico.
- Los cables que salen del nodo de interconexión hacia el controlador electrónico, son cables tipo ribbon para llevar la señal que controla el servomotor y cable calibre 18 para la conducción de energía.
- El módulo de control electrónico corresponde a una tarjeta Arduino Mega 2560 para la órtesis PRO-Dix (órtesis robótica completa de la mano), ya que para el PRO-Dix I – II – III se requiere una tarjeta Arduino UNO R3.
- Fuente de Alimentación Regulada: Se debe utilizar Switching Power Supply, que son fuentes de alimentación reguladas certificadas para uso médico, cumplen estándares de seguridad internacionales. Para evitar el sobrecalentamiento de las fuentes, se debe colocar un ventilador de 12 V sobre la parte central de la fuente de alimentación.

- Software de Implementados: Corresponde a software Arduino para programación de las tarjetas electrónica Arduino UNO R3 y Arduino Mega 2560.
- Código de Programación del Módulo de Control: Corresponde al código de programación realizado en el software Arduino, para programar el microcontrolador de las tarjetas electrónicas Arduino. consiste en una modificación del programa propio de arduino para realizar un barrido de los servomotores. Se puede conseguir el código original en el software Arduino 1.0.5-r2 o en las versiones más recientes, seleccionado la ruta: Archivo – Ejemplos – Servo – Sweep.

2.5.5 Modificación código servo sweep de Arduino: Las modificaciones al código original del programa arduino se dejan en negrilla:

```
// Swee
// by BARRAGAN <http://barraganstudio.com>
// This example code is in the public domain.

#include <Servo.h>
Servo myservo1;          // create servo object to control a servo
Servo myservo2;        // a maximum of eight servo objects can be created
Servo myservo3;
Servo myservo4;

int pos = 0;              // variable to store the servo position
int led1 = 8;
int led2 = 9;
int led3 = 10;
void setup()

{

  Serial.begin(9600);
  myservo1.attach(4);
  myservo2.attach(5);
  myservo3.attach(6);
  myservo4.attach(7);    // attaches the servo on pin 9 to the servo object

  pinMode (led1, OUTPUT);
  pinMode (led2, OUTPUT);
  pinMode (led3, OUTPUT);

}
void loop()
{

  for(pos = 53; pos < 110; pos += 2) // goes from 53 degrees to 110 degrees
  {                                  // in steps of 2 degree
    myservo1.write(pos);            // tell servo to go to position in variable 'pos'
    digitalWrite(led1,HIGH);
    digitalWrite(led2,LOW);
    digitalWrite(led3,LOW);
    delay(5);                      // waits 15ms for the servo to reach the position
  }
  delay(2000);
```

```

for(pos = 110; pos>=45; pos-=2) // goes from 110 degrees to 45 degrees
{
  myservo1.write(pos);           // tell servo to go to position in variable 'pos'
  digitalWrite(led1,LOW);
  digitalWrite(led2,HIGH);
  digitalWrite(led3,HIGH);
}
delay(5);                        // waits 15ms for the servo to reach the position
}
delay(2000);
}

```

2.3 Aplicaciones industriales que satisface la invención:

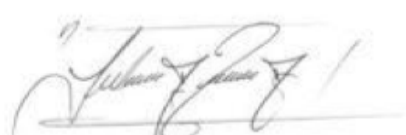
La órtesis robótica PRO-Dix tiene aplicaciones de rehabilitación pasiva de la mano de pacientes con algun grado de discapacidad de cualquier etiología (Lesiones Neurológicas Periféricas, Lesiones Musculares, Lesiones Tendinosas, Lesiones Neurológicas Centrales o fracturas en mano). La órtesis PRO-Dix beneficia a pacientes con secuelas funcionales de la mano a causa de Enfermedad Cerebrovascular, Polineuropatías, Traumas medulares, Traumas osteotendinosos, Enfermedades desmielinizantes, entre otras).

La órtesis robótica PRO-Dix se ha diseñado para usar en centros de rehabilitación, sin embargo, teniendo en cuenta la seguridad de las fuentes de alimentación conmutada, puede tener aplicaciones de uso doméstico a las personas que requieren mayor tiempo de rehabilitación por enfermedades neurológicas discapacitantes como Síndrome de Guillain Barre, Polineuropatías, Lesiones medulares cervicales, y Enfermedad Cerebrovascular.

El mecanismo de transmisión de movimiento entre las diferentes piezas articuladas, puede servir para todos los procesos industriales que requieran brazos robóticos con un movimiento repetitivo en flexión y extensión.



JUAN DAVID MORENO ARANGO
CC: 75.076.197 de Manizales
Investigador Principal



JULIAN ALBERTO MORENO ARANGO
CC: 75.084.785 de Manizales
Coinvestigador