

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: ÓRTESIS ROBÓTICA DE LA ARTICULACIÓN DE LA MUÑECA CON APLICACIONES DE REHABILITACIÓN Y ASISTENCIA (PRO-Wix)

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 y activa de la muñeca, su diseño beneficia a los pacientes con diferente grado de discapacidad motriz de la muñeca, a causa de lesiones neurológicas, musculares, óseas o articulares. Hace parte de la innovación para el desarrollo tecnológico en el área de la salud, el diseño del “**PRO-Wix**” es propio, se diferencia de los exoesqueletos de miembro superior existentes en cuanto a la interface órtesis piel y la estructura del exoesqueleto mecánico, posee una pieza metálica de acero inoxidable cubierta por cuero textil y neopreno, la cual se ensambla a piezas en acrílico 3 mm que sirven de soporte a los servomotores y se encuentran articuladas con ejes metálicos que permiten fijar las piezas que conforman la plataforma del exoesqueleto y además, permiten la movilidad de las piezas que contienen los servomotores. Las palancas del servomotor se encuentran fijadas mediante ejes metálicos a una extensión arqueada en acrílico 3 mm, la cual se une en su extremo distal mediante tela velcro a una pieza de soporte de la mano, la cual consiste en un cilindro cuyo interior está compuesta por espuma semidura protegida por cuero textil. Con el movimiento angular de las palancas de los servomotores, se reproducirá el movimiento del soporte de la mano permitiendo la flexión, extensión, aducción y abducción de la muñeca.

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-Wix**” consiste en un exoesqueleto mecatrónico para realizar rehabilitación pasiva y activa de la muñeca, complementando la terapia física convencional en los pacientes con discapacidad motriz de la muñeca por cualquier etiología, el dispositivo biomédico cumple la función de facilitar la movilización pasiva temprana en caso de lesiones traumáticas o enfermedad cerebrovascular, y asistir la movilización activa en caso de enfermedades crónicas. Consiste en tres estructuras: 1) “**PRO-Wix I**”: es un exoesqueleto que permite reproducir el movimiento de la muñeca con un grado de libertad (flexión y extensión), cuenta con dos servomotores de alta potencia y se aplica a pacientes con mano pequeña

y mediana. 2) **“PRO-Wix II”**: es un exoesqueleto que permite reproducir el movimiento de la muñeca con un grados de libertad (flexión y extensión), cuenta con cuatro servomotores de alta potencia y se aplica a apacientes con mano grande y extra grande. 3) **“PRO-Wix III”**: es un exoesqueleto que permite reproducir el movimiento de la muñeca con 3 grados de libertad (flexión, extensión, aducción, abducción y rotación), cuenta con tres servomotores de alta potencia, dos para la flexión y extensión, y un servomotor para la aducción y abducción, la combinación del movimiento de los tres servomotores genera el movimiento de rotación. 4) **“PRO-Wix IV”**: es un exoesqueleto que permite reproducir el movimiento de la muñeca con uno a tres grados de libertad (flexión, extensión, aducción, abducción y rotación), cuenta con una estructura unida al exoesqueleto **“PRO-Dix”** en lugar del soporte de mano, de esta forma permite la rehabilitación de la muñeca y de los dedos de la mano al mismo tiempo.

El exoesqueleto **“PRO-Wix”** se diferencia de los exoesqueletos de miembro superior existentes en todos los aspectos estructurales y dinámicos: 1) El diseño de la interfase órtesis piel tienen forma diferente. 2) Las pieza metálica en la base del exoesqueleto cumple la utilidad de estabilizar la estructura al antebrazo en forma de brazaletes, esta pieza no se encuentra en ninguno de los exoesqueletos existentes. 3) Las piezas de acrílico tienen forma y configuración únicas, cumplen tres funciones: crean una base fija sobre la cual se desplazan las estructuras móviles, crean las bases de los servomotores, y prolongan las palancas de los servomotores para transmitir el movimiento angular a la muñeca. 4) El exoesqueleto **“PRO-Wix”** requiere dos servomotores para reproducir el movimiento en flexión y extensión de la muñeca, (cuatro servomotores para las manos más grandes); requiere un servomotor para reproducir el movimiento de aducción y abducción de la muñeca; y mediante programación podemos obtener un movimiento rotacional de la muñeca con los mismos servomotores. 5) La dinámica de movimiento del **“PRO-Wix”** es un diseño original, permitiendo que las piezas de acrílico se desplacen armónicamente para flexionar, extender, aducir, abducir y rotar la muñeca, este mecanismo no se encuentra en ninguno de los exoesqueletos existentes.

Los exoesqueletos utilizados para la rehabilitación y asistencia de las limitaciones funcionales del miembro superior incluyen el hombro, el codo y a veces la muñeca. Igualmente los exoesqueletos utilizados para la rehabilitación y asistencia de las limitaciones funcionales de la mano incluyen los dedos de la mano y a veces la muñeca. La revisión bibliográfica del estado del arte relacionado con este tipo de tecnología biomédica, determina diferencias fundamentales entre los dispositivos existentes y nuestro Prototipo **“PRO-Wix”**.

Desde los años 80 muchos investigadores han estado tratando de desarrollar estructuras robóticas destinadas a replicar las funciones del miembro superior humano. En la práctica, los exoesqueleto aplican fuerzas externas a los brazos, antebrazos y manos, con el fin de obligarlos a realizar una trayectoria determinada o para mejorar la fuerza que la extremidad normalmente podría aplicar.

Los robots exoesqueleto del miembro superior se han utilizado como dispositivos de ayuda, de rehabilitación, amplificadores de la fuerza humana y para crear una interfaz háptica. Su diferencia se basa en el diseño mecánico, los grados de libertad (GDL) y el tipo de actuadores que utilizan. A continuación describimos las características de los exoesqueletos de miembro superior que tienen aplicaciones en la articulación de la muñeca, teniendo presente que existen exoesqueletos comerciales y prototipos en experimentación.

1. Siam Charoenseang and Sarut Panjan: Exoesqueleto Universal.
 - Características: Es un robot diseñado para rehabilitación del hombro, codo y muñeca, permite 4 GDL, y utiliza actuadores neumáticos, es programado por software y tiene sensores de fuerza. El mecanismo de operación consiste en músculos neumáticos que traccionan el exoesqueleto mediante cables y poleas.
 - Diferencias: Estructura mecánica diferente, exoesqueleto metálico articulado para todo el miembro superior excepto mano, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, la estructura ocupa mucho espacio, sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
 - Publicación: [1] Siam Charoenseang and Sarut Panjan, Universal Exoskeleton Arm Design for Rehabilitation, Journal of Automation and Control Engineering Vol. 3, No. 6, December 2015.

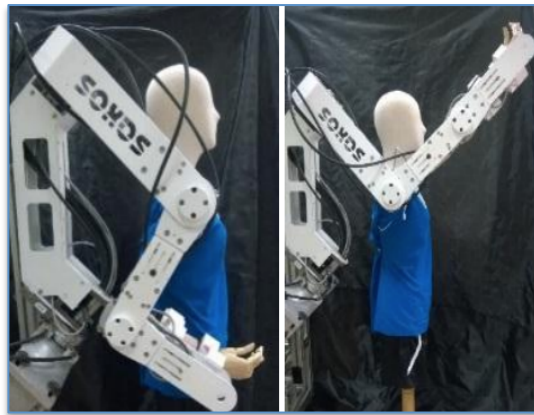


Figura 1. Exoesqueleto Universal, Siam Charoenseang et al. [1]

2. R. A. R. C. Gopura and K. Kiguchi: Exoesqueleto SUEFUL-6.
 - Características: Es un robot diseñado para asistencia del hombro, codo y muñeca, permite 6 GDL, y utiliza actuadores tipo servomotores, es programado por software. El mecanismo de operación consiste en servomotores ubicados en el exoesqueleto para moverlo mediante la mecánica de engranajes.

- Diferencias: Estructura mecánica diferente, exoesqueleto metálico articulado para todo el miembro superior excepto mano, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, la estructura ocupa mucho espacio, sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: [2] R. A. R. C. Gopura and K. Kiguchi, "Development of a 6DOF Upper-Limb Exoskeleton Robot," Int. Conf. on Inform. Automat. for Sustainability, Colombo, Sri Lanka, 2008, pp. 13-18.

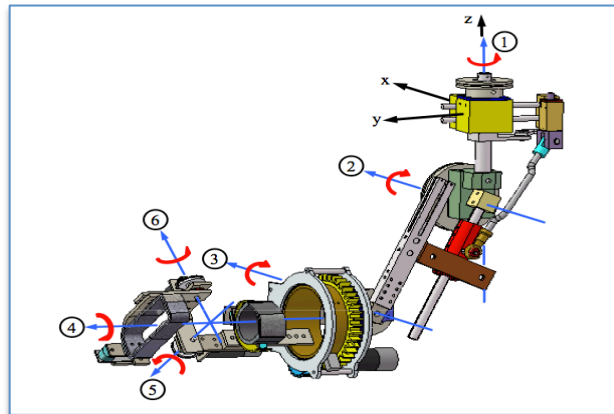


Figura 2. Exoesqueleto SUEFUL-6, Gopura et al. [2]

3. H. Kawasaki et al:

- Características: Es un robot diseñado para rehabilitación de la mano y la muñeca, permite 18 GDL para los dedos y la muñeca, utiliza actuadores tipo servomotores, es programado por software. El mecanismo de operación consiste en servomotores ubicados en el exoesqueleto para moverlo mediante la mecánica de engranajes y poleas.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, exoesqueleto metálico articulado para mano y muñeca, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, la estructura ocupa mucho espacio, sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: [3] H. Kawasaki, S. Ito, Y. Ishigure, and Y. Nishimoto, T. Aoki, T. Mouri, H. Sakaeda and M. Abe, "Development of a Hand Motion Assist Robot for Rehabilitation Therapy by Patient Self-Motion Control," in Proc. IEEE Int. Conf. on Rehabil. Robotics, Noordwijk, The Netherlands, 2007, pp. 234-240.

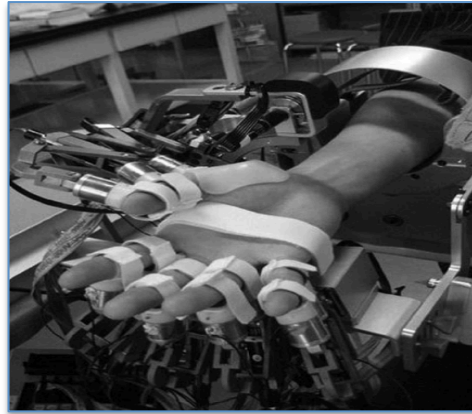


Figura 3. Exoesqueleto de Miembro Superior. Kawasaki et al. [3]

4. A. Gupta et al:

- Características: Es un robot diseñado para rehabilitación del hombro, codo y la muñeca, permite 5 GDL, utiliza actuadores tipo motores eléctricos, es programado por software. El mecanismo de operación consiste en motores ubicados en el exoesqueleto para moverlo mediante la mecánica de engranajes.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, exoesqueleto metálico articulado para todo el miembro superior excepto mano, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, la estructura ocupa mucho espacio, sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: [4] A. Gupta and M. K. O'Malley, "Design of a haptic arm exoskeleton for training and rehabilitation," IEEE/ASME Trans. Mechatronics, vol. 11, pp. 280–289, 2006.



Figura 4. Exoesqueleto de Miembro Superior, Gupta et al. [4]

5. M. Mihelj et al: Exoesqueleto ArmiN II.

- Características: Es un robot diseñado para rehabilitación del hombro, codo y muñeca, permite 4 GDL, utiliza actuadores tipo motores DC, es programado por software. El mecanismo de operación consiste en motores ubicados en el exoesqueleto para moverlo mediante la mecánica de engranajes, poleas y cables.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, exoesqueleto metálico articulado para todo el miembro superior excepto mano, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, la estructura ocupa mucho espacio, sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: [5] M. Mihelj, T. Nef and R. Riener, "ARMin II-7 DOF Rehabilitation Robot: Mechanism and Kinematics," in Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automat., Roma, Italy, 2007, pp. 4120-4125.

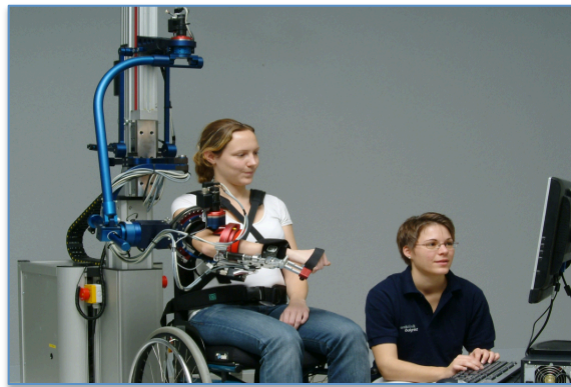


Figura 5. Exoesqueleto de Miembro Superior, Mihelj et al. [5]

6. S. J. Ball et al: Exoesqueleto Planar 3DOF.

- Características: Es un robot diseñado para la asistencia y rehabilitación del hombro, codo y muñeca, permite 6 GDL, utiliza actuadores tipo motores eléctricos, es programado por software. El mecanismo de operación consiste en motores ubicados por fuera del exoesqueleto para moverlo mediante la mecánica de engranajes, poleas y cables.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, exoesqueleto metálico articulado para todo el miembro superior excepto mano, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, la estructura ocupa mucho espacio, sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: [6] S. J. Ball, I. E. Brown, and S. H. Scott, "A planar 3DOF robotic exoskeleton for rehabilitation and assessment," in Proc. IEEE Int. Conf. on Eng. in Medicine and Biology Society, Lyon, France, 2007, pp 4024-4027.

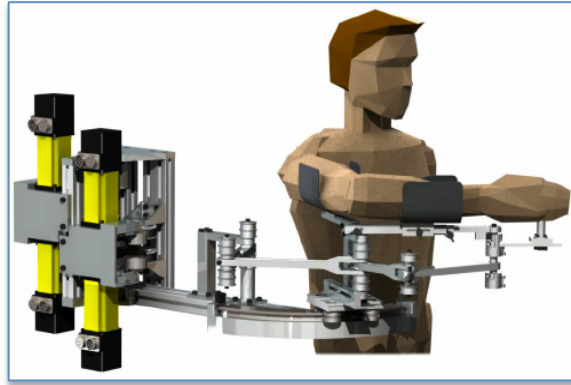


Figura 6. Exoesqueleto de Miembro Superior, Ball et al. [6]

7. E. Rocon et al: Exoesqueleto para manejo del temblor.

- Características: Es un robot diseñado para la valoración y supresión del temblor en el codo, antebrazo y muñeca, permite 3 GDL, utiliza motores de corriente continua, es programado por software. El mecanismo de operación consiste en motores ubicados por fuera del exoesqueleto para moverlo mediante la mecánica de engranaje.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, exoesqueleto metálico articulado para todo el miembro superior excepto mano, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, la estructura ocupa mucho espacio, sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: [7] E. Rocon, A. F. Ruiz, J. L. Pons, J. M. Belda-Lois, and J. J. Sanchez-Lacuesta, "Rehabilitation Robotics: A Wearable Exoskeleton for Tremor Assessment and Suppression," in Proc. Int. Conf. on Robotics and Automat., Barcelona, Spain, 2005, pp. 241-246.

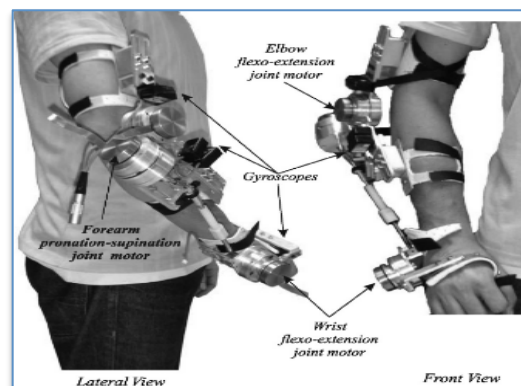


Figura 7. Exoesqueleto de Miembro Superior, Rocon et al. [7]

8. H. Kobayashi et al: Exoesqueleto para soporte del miembro superior.
- Características: Es un robot diseñado para la rehabilitación del hombro, codo y muñeca, permite 4 GDL, utiliza músculos neumáticos, es programado por software. El mecanismo de operación consiste en músculos neumáticos traccionan el exoesqueleto para generar el movimiento, simulando las contracciones de la musculatura humana.
 - Diferencias: Estructura mecánica diferente, exoesqueleto metálico articulado para todo el miembro superior excepto mano, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, la estructura ocupa mucho espacio, sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
 - Publicación: [8] H. Kobayashi and K. Hiramatsu, "Development of Muscle Suit for Upper Limb," in Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automat., vol. 3, New Orleans, USA, 2004, pp. 2480-2485.2004.



Figura 8. Exoesqueleto de Miembro Superior, Kobayashi et al. [8]

9. D. Sasaki et al:
- Características: Es un robot diseñado para la asistencia de la muñeca, permite 1 GDL, utiliza músculos neumáticos, es programado por software. El mecanismo de operación consiste en músculos neumáticos se contraen y simulan el movimiento de flexión y extensión de la muñeca.
 - Diferencias: Estructura mecánica diferente, exoesqueleto metálico articulado para la muñeca, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, la estructura ocupa mucho espacio, sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
 - Publicación: [9] D. Sasaki, T. Noritsugu, and M. Takaiwa, "Development of Active Support Splint Driven by Pneumatic Soft Actuator (ASSIST)," J. Robotics and Mechatronics, vol. 16, pp. 497-502, 2004.

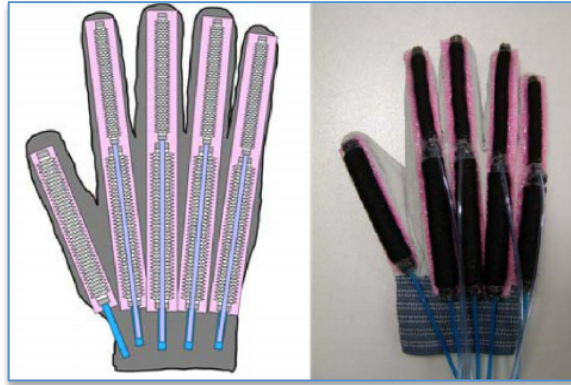


Figura 9. Exoesqueleto de Miembro Superior, Sasaki et al. [9]

10. N.G. Tsagarakis et al:

- Características: Es un robot diseñado para la rehabilitación del hombro, codo y muñeca, permite 7 GDL, utiliza músculos neumáticos, es programado por software. El mecanismo de operación consiste en músculos neumáticos se contraen y simulan el movimiento del miembro superior.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, exoesqueleto metálico articulado para el codo, hombro y muñeca, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, la estructura ocupa mucho espacio, sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: [10] N. G. Tsagarakis and D. C. Caldwell, "Development and Control of a 'Soft-Actuated' Exoskeleton for Use in Physiotherapy and Training," J. Autonomous Robots, vol. 15, pp. 21-33, 2003.



Figura 10. Exoesqueleto de Miembro Superior, Tsagarakis et al. [10]

11. Columbia Scientific LLC: Hand mentor

- Características: Es un robot diseñado para la rehabilitación de la mano y la muñeca, permite 1 GDL, utiliza músculos neumáticos, es programado por software. El mecanismo de operación consiste en músculos neumáticos se contraen y simulan el movimiento de la muñeca.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, exoesqueleto metálico articulado para la muñeca, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, la estructura ocupa mucho espacio, sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: [11] Available: <http://www.handmentor.com/index.php?id=32>



Figura 11. Exoesqueleto de Miembro Superior, Hand Mentor. [11]

12. M. Mistry et al:

- Características: Es un robot diseñado para investigación de la dinámica del hombro, codo y muñeca, permite 7 GDL, utiliza actuadores hidráulicos. El mecanismo de operación consiste en actuadores hidráulicos traccionan el exoesqueleto mediante cables y poleas.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, exoesqueleto metálico articulado para el hombro, codo y muñeca, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, la estructura ocupa mucho espacio, sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: [12] M. Mistry, P. Mohajerian, and S. Schaal, "An Exoskeleton Robot for Human Arm Movement Study," in Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intell. Robots and Syst., Alberto, Canada, 2005, pp. 4071- 4076.



Figura 12. Exoesqueleto de Miembro Superior, Mistry et al. [12]

13. Arneo:

- Características: Es un robot diseñado para la rehabilitación del hombro, codo y muñeca, permite 7 GDL, utiliza actuadores tipo motores eléctricos. El mecanismo de operación consiste en actuadores que traccionan el exoesqueleto mediante cables y poleas.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, exoesqueleto metálico articulado para el hombro, codo y muñeca, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, la estructura ocupa mucho espacio, sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: [13] <https://www.hocomma.com>



Figura 13. Exoesqueleto de Miembro Superior, Arneo. [13]

14. INMOTION ARM:

- Características: Es un robot diseñado para la rehabilitación del hombro, codo y muñeca, permite 7 GDL, utiliza actuadores tipo motores eléctricos. El mecanismo de operación consiste en actuadores que traccionan el exoesqueleto mediante cables y poleas.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, exoesqueleto metálico articulado para el hombro, codo y muñeca, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, la estructura ocupa mucho espacio, sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: [14] <http://www.bioniklabs.com/products/inmotion-arm>



Figura 14. Exoesqueleto de Miembro Superior, Inmotion. [14]

15. Exoesqueleto Alex de Kinetek:

- Características: Es un robot diseñado para la rehabilitación del hombro, codo y muñeca, permite 5 GDL, utiliza actuadores tipo motores eléctricos. El mecanismo de operación consiste en actuadores que traccionan el exoesqueleto mediante cables y poleas.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, exoesqueleto metálico articulado para el hombro, codo y muñeca, el entorno de trabajo es institucional, operador técnico dependiente, la estructura ocupa mucho espacio, sus componentes aumentan los costos del dispositivo.
- Publicación: [15] <http://www.bioniklabs.com/products/inmotion-arm>



Figura 15. Exoesqueleto de Miembro Superior, Alex de Kinetek [15]

16. Exoesqueleto EMMRA-1:

- Características: Es un exoesqueleto mecatrónico diseñado para la rehabilitación y asistencia de la mano y muñeca, permite 7 GDL para la mano y 1 GDL para la muñeca, utiliza actuadores tipo servomotores. El mecanismo de operación consiste en actuadores que al mover sus palancas, transmiten el movimiento a piezas articuladas de acrílico.
- Diferencias: Estructura mecánica diferente, exoesqueleto mecatrónico articulado para muñeca y dedos de la mano, el entorno de trabajo es institucional o doméstico, puede ser programado y no depende de un operador para su funcionamiento, ya que es controlado por módulos de voz y electromiografía.
- Publicación: [16] Moreno A. Juan D, Moreno A. Julián A. Prototipo Exoesqueleto de Mano y Muñeca con Aplicaciones de Rehabilitación y Asistencia EMMRA -1. VIII Congreso de Tecnologías de Apoyo a la Discapacidad – Iberdiscap. Noviembre de 2015. Páginas 219 – 222. ISBN: 978-956-9763-00-7.



Figura 15. Exoesqueleto de mano y muñeca, EMMRA-1 [16]

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 y activa de la muñeca, se compone de tres interfaces: La primera **Interface órtesis-piel** consiste de un protector del antebrazo elaborado en cuero y neopreno, y un soporte de mano cilíndrico elaborado en espuma y cuero textil, ambos diseñados exclusivamente para adaptar la órtesis a la piel y ajustar el exoesqueleto al antebrazo y mano del paciente. La segunda **Interface órtesis pasiva** consiste en diferentes piezas articuladas entre si; contiene una pieza metálica en forma de brazaletes que engancha la estructura al antebrazo, contiene una pieza fija de acrílico que se acopla a la pieza metálica y sirve de soporte fijo al exoesqueleto; contiene una pieza móvil de acrílico que contiene los servomotores, esta pieza se desplaza sobre la pieza fija de acrílico hacia delante y hacia atrás durante los movimientos de la muñeca; contiene palancas de acrílico en forma de arco, que se unen a las palancas de los servomotores por medio de ejes tipo remache metálicos, estas palancas en acrílico transmiten al soporte de la mano el movimiento angular de los servomotores; contiene variaciones en las piezas fijas de acrílico y en las piezas móviles de acrílico para aplicaciones diferentes en el proceso de rehabilitación, haciendo que el exoesqueleto tenga mas potencia o pueda asistir a la muñeca en los movimientos que se requieran. La tercera **Interface órtesis activa** involucra los actuadores (servomotores pequeños de alta potencia) que tienen una palanca que trasmite el movimiento a las palancas en acrílico en forma de arco, y estas a su vez al soporte de la mano o a las bases del exoesqueleto PRO-Dix, está innovadora dinámica permitir el movimiento de la muñeca en flexión, extensión, aducción, abducción y rotación.

Para el funcionamiento del dispositivo se tienen tres componentes: El primero es el **Módulo de Control**, cuenta con una tarjeta electrónica programable y una tarjeta electrónica de enlace entre los elementos digitales y análogos del exoesqueleto. El módulo de control electrónico permite al terapeuta graduar el movimiento en flexión y extensión de la muñeca de 0 a 110 grados, graduar el torque del movimiento, y graduar los tiempos de flexo-extensión de 2 a 10 segundos. El segundo es la **Fuente de Alimentación**, cuenta con fuentes de alimentación conmutada con entradas de 110 a 220 voltios AC, con salidas de 5 voltios DC, estas fuentes son 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 muñeca y de la mano tienen 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 muñeca y 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 necesario luego de lesiones traumáticas y no traumáticas que ocasionan discapacidad de la muñeca, apoyan la movilización temprana en caso de trauma o accidentes cerebrovasculares y permiten dar asistencia para la continuidad de la movilización activa en las enfermedades crónicas.

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

El diseño de la mecánica articular de la órtesis robótica PRO-Wix es exclusivo para reproducir el movimiento de la muñeca con la actuación de los servomotores pequeños de alta potencia. 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 la muñeca, evitando la luxación de la muñeca por sobretensiones.

El dispositivo contiene diferentes piezas para permitir 1, 2 o 3 GDL de acuerdo a la aplicación para la cual se necesita, puede contener 2, 3 o 4 servomotores según el modelo, para permitir a la muñeca realizar el movimiento de flexión, extensión, aducción, abducción y rotación. Todos los movimientos de los servomotores son programados por software.

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 y activa de la muñeca, complementando la terapia física convencional en los procesos de movilización pasiva temprana y en los procesos de asistencia en la movilización activa.

Dependiendo de los requerimientos de los pacientes, se diseñaron cuatro modelos: Modelo I: Rehabilitación y asistencia en el movimiento de flexión y extensión de la muñeca para manos tallas pequeño y mediana. Modelo II: Rehabilitación y asistencia en el movimiento de flexión, extensión, aducción, rotación y abducción de la muñeca. Modelo III: Rehabilitación y asistencia en el movimiento de flexión y extensión de la muñeca para manos tallas grande y extra grande. Modelo IV: Adaptación de algún modelo anterior a la órtesis robótica para la rehabilitación de las manos “PRO-Dix”.

Nota: La órtesis robótica para la rehabilitación de los dedos de la mano “PRO-Dix” ya cuenta con solicitud de registro de patente ante la Superintendencia de Industria y Comercio con el número radicado NTC2016/0001196.

2.3.3.1 Exoesqueleto de la Muñeca Modelo I: Diseñada para las manos pequeñas y medianas, tiene solo un grado de libertad para permitir el movimiento de extensión y flexión de la muñeca.

- **Interface Órtesis – Piel:** Conformado por dos piezas: 1) El **protector del antebrazo** en las superficies de contacto entre las piezas metálica y de acrílico con la piel del antebrazo, corresponde a una tela de neopreno de la cual se desprenden correas en cuero que ajustan el exoesqueleto al antebrazo mediante tela velcro en sus extremos. 2) El **soporte de la mano** en la cara palmar y dorsal de la mano, corresponde a una espuma semidura enrollada hasta formar un cilindro cubierto por tela cuero textil, que contiene correas de cuero que forman vainas por donde pasan los dedos de la mano y las correas de cuero del exoesqueleto. Las piezas de neopreno y cuero protegen a la piel del calor generado por los servomotores y del roce de la piel con las piezas metálicas y de acrílico. Los protectores son fabricados de materiales utilizados en la industria textil y ortopédica, tales como cuero, neopreno, velcro e hilo nylon.
 - La **pieza 1 (protector del antebrazo)** está representada en las figuras 1 y 2, tiene forma de brazalete (1), está conformada por una pieza semitubular de neopreno (20) que se ubica en la cara dorsal del antebrazo, y dos correas en cuero textil, una distal (18) y una proximal (19) que se encuentran unidas mediante costura con hilo nylon a la cara lateral externa de la pieza semitubular (18) y se ajustan con tela velcro a la cara lateral interna de la pieza semitubular (18). Sobre la **pieza 1** (1) se fija la **pieza 2** (2) representada en la figura 3.

- La **pieza 9 (soporte de la mano)** está representada en las figuras 15 y 16, *tiene forma cilíndrica* (9), está ubicada en la cara ventral de la mano, está compuesta por una espuma semidura enrollada formando un cilindro (88), cubierta por cuero textil, permite que la mano del paciente agarre la espuma y la deforme, la espuma tiene memoria de su posición y tenderá a volver a su forma cilíndrica, esto llevará a la mano del paciente a la posición de reposo durante la rehabilitación. En las bases del cilindro (86) se encuentran unas correas de cuero textil (85) por donde pasará las correas (182 y 183) de las palancas arqueadas de acrílico (6 y 7) hasta adherirse mediante tela velcro a la cara inferior externa del cilindro donde se encuentra también cubierta por tela velcro (90). En la cara superior externa del cilindro se encuentra una pieza de neopreno en forma de arco (88) que contiene en la cara externa dos zonas de tela velcro (83) donde se adhieren las correas (182 y 183) de las palancas arqueadas de acrílico (6 y 7), a través de este arco pasarán los dedos II, III, IV y V de la mano. En la cara externa medial del cilindro también se encuentra una correa de cuero textil en forma de arco (87) por la cual pasará el I dedo de la mano. La superficie cónica (84) le dará una apariencia más estética a la estructura.
- **Interface Órtesis Pasiva:** El diseño de las pieza metálica y de las piezas de acrílico, palancas y ejes tipo remache, es un diseño exclusivo para el prototipo “PRO-Wix”; contiene tres piezas: 1) Una **pieza metálica** en forma de brazalete para estabilizar la estructura en el antebrazo del paciente. 2) Una **pieza de acrílico fija**, intermedias entre la estructura metálica y la pieza de acrílico móvil. 3) Una **pieza de acrílico móvil** que contienen los servomotores y se desplazan sobre la pieza fija hacia delante y hacia atrás. Cada pieza de acrílico tiene un diseño único y original, se ensamblan entre sí mediante ejes tipo remache metálicos y se fijan al antebrazo mediante los protectores de cuero y neopreno.
 - La **pieza 2 (pieza metálica)** está representada en las figuras 3 y 4, es una estructura metálica de acero inoxidable calibre 19 en forma de brazalete (2), que se ubica en la superficie dorsal del antebrazo, es el soporte para el exoesqueleto de la muñeca. Esta conformada por una superficie plana (27) en forma rectangular de 90 a 100 mm de longitud y 30 a 40 mm de altura, los vértices se encuentran redondeados con un radio de 5 mm; contiene también extensiones metálicas laterales en forma de abrazaderas anteriores (22 y 27) y abrazaderas posteriores (23 y 26), las cuales ajustan esta estructura

al antebrazo; contiene también agujeros de 3 mm (21, 24, 25, 28) ubicados en las abrazaderas metálicas laterales anteriores y posteriores, por los cuales se fijará la pieza 3 (3) mediante ejes tipo remache (5). La pieza 2 (2) se encuentra cubierta por cuero textil y se fija mediante costura de hilo nylon a la pieza 1 (1) alrededor de las abrazaderas laterales anteriores y posteriores (22,23,26,27).

- La **pieza 3 (pieza de acrílico fija)** está representada en las figuras 5 y 6, es una estructura de acrílico 3 mm en forma arqueada (3), está ubicada en la cara dorsal del antebrazo. Está conformada por una superficie plana rectangular (31) que contiene orificios rectangulares con dimensiones de 35 x 4 mm (32, 36, 39), los cuales permiten a la pieza 3 (3) acoplarse a la pieza 4 (4) mediante ejes tipo remache (5); la pieza 3 tiene unas dimensiones entre 90 a 100 mm en las bases y 30 a 40 mm de altura, los bordes de la superficie rectangular se encuentran redondeados con un radio de 5 mm; la pieza 3 contiene también extensiones laterales curvas (30, 37), para ensamblarse a la pieza 2 (2) mediante ejes tipo remache (5), ubicados como ejes fijos a través de los agujeros de 3 mm (31, 34, 35, 38) de la pieza 3 (3) y de los agujeros de 3 mm (21, 24, 25, 28) de la pieza 2 (2).
- La **pieza 4 (pieza de acrílico móvil)** está representada en las figuras 7 y 8, es una estructura de acrílico 3 mm en forma de nave (4), está conformada por una superficie plana (49), con unas dimensiones entre 110 a 120 mm en la bases y 45 mm de altura, en su lado distal tiene una prolongación medial anterior de 30 mm de ancho por 15 mm de alto, con bordes que tienen redondez radio 5 mm, en dicha prolongación se encuentran los agujeros de 3 mm (40 y 60), los cuales junto con el agujero de 3 mm (50) se acoplan a los agujeros rectangulares (32, 36, 39) de la pieza 3 (3), para permitir el desplazamiento hacia delante y hacia atrás de la pieza 4 (4) sobre la pieza 3 (3); también contiene unas prolongaciones laterales en forma de "C", cuya cara superior horizontal (42, 57) se continua con la cara lateral (44, 55) mediante una curvatura de radio 5 mm (43, 56), y se une a la base (49) mediante una curvatura de radio 5 mm (45, 54). La pieza 4 (4) sirve de soporte a los servomotores (171 y 172), esta parte de la pieza tiene además unas prolongaciones laterales (41, 47, 52, 58) con dimensiones de 20 mm de base x 15 mm de altura, las cuales sirven de abrazaderas a los servomotores (171 y 172), la base de estas prolongaciones es la prolongación de la cara superior (42 y 57) mediante curvaturas de radio 5 mm (46, 53) que cambian la

dirección del acrílico. En los lados de la base de la pieza 4 (4) se encuentran unos espacios (48, 51) donde se pega una cinta transparente doble cara para adherir la pieza a los servomotores (171 y 172).

- La **pieza 5 (remaches)** está representada en la figura 9, es una estructura de metal tipo remache doble cabeza (5), está conformada por un eje cilíndrico (62) con una cabeza inferior (63) y una superior (61), la pieza 5 (5) pueden ser remaches estándar o remache tornillos.

- **Interface Órtesis Activa:** Contiene los tres elementos que dan movimiento al exoesqueleto: 1) Los **actuadores** utilizados son dos servomotores pequeños, de bajo peso y de alta potencia. 2) Las **palancas de los servomotores**. 3) Las **palancas de acrílico**, corresponden a piezas arqueadas que se unen a las palancas de los servomotores como una extensión de las mismas. Con el movimiento del eje motriz del servomotor las palancas descritas obligan la muñeca a describir una trayectoria determinada, se utilizan ejes fijos tipo remache metálicos para enlazar las diferentes piezas del exoesqueleto, y ejes móviles tipo remache tornillo que ensamblan las piezas de acrílico móviles y se desplazan entre las piezas de acrílico de la base para permitir el movimiento de las piezas móviles.

- La **pieza 10 (actuador)** está representada en las figuras 17 y 18, corresponde a un servomotor de alta potencia (10), con un torque de 36 a 44 kg/cm y con dimensiones son longitud de 43.7 mm, ancho de 22.4 mm y alto de 1.57 mm. Presenta las caras basal (95), laterales (94), una superficie con relieve tipo canales de 1 mm de alto por 1 mm de ancho (93), un eje motriz (91), un espacio para la etiqueta del producto (92). El eje motriz se une a las palancas del servomotor de diferente tamaño (11 y 12).

- La **pieza 11 (palanca grande del servomotor)** está representada en la figura 19, corresponde a la palanca grande (11) de todos los servomotores (10), está conformada por un cuerpo aplanado (97), que contiene los agujeros de 3 mm (98, 99) para fijarse a los agujeros de 3 mm (69, 70, 72, 73, 80 y 81) de las piezas arqueadas de acrílico (6, 7 y 8), además contiene el agujero de 3 mm (96) para acoplarse al eje motriz (91) del servomotor (10) y así transmitir el movimiento angular al soporte de la mano (9).

- La **pieza 6 (palanca de acrílico interna)** está representada en las figuras 10 y 11, es una estructura de acrílico 3 mm en forma de arco (6), está conformada por una parte arqueada (64) de radio 9 en el arco inferior y de radio 11 mm en el arco superior, tiene 15 mm de altura, contiene los agujeros de 3 mm (69, 70) para ensamblar la pieza 6 (6) a los agujeros de 3 mm (98, 99) de la palanca (175) del servomotor (171), mediante ejes tipo remache (5), también contiene el agujero de 3 mm (65) para ensamblarse al agujero de 3 mm (77) de la pieza de acrílico 7 (7) mediante ejes tipo remache, además el extremo distal de la pieza 6 (6) presenta una curvatura (68) con radio de 5 mm que se prolonga hacia la parte horizontal (67) con dimensiones 35 mm de largo x 15 mm de ancho, en dicha prolongación (67) se encuentran los agujeros de 1,5 mm (66) para fijar la correa de cuero textil (182) a la estructura, los extremos de la pieza 6 (6) tienen una redondez con radio de 7,5 mm.
- La **pieza 7 (palanca de acrílico externa)** está representada en las figuras 12 y 13, es una estructura de acrílico 3 mm en forma de arco (7), está conformada por una parte arqueada (73) de radio 9 en el arco inferior y de radio 11 mm en el arco superior, tiene 15 mm de altura, contiene los agujeros de 3 mm (72, 73) para ensamblar la pieza 7 (7) a los agujeros de 3 mm (98, 99) de la palanca (176) del servomotor (172), también contiene el agujero de 3 mm (77) para ensamblarse al agujero de 3 mm (65) de la pieza de acrílico 6 (6) mediante un eje tipo remache metálico (5), además el extremo distal de la pieza 7 (7) presenta una curvatura con radio de 5 mm (76) que se prolonga hacia la parte horizontal (74) con dimensiones 35 mm de largo x 15 mm de ancho, en dicha prolongación (74) se encuentran los agujeros de 1,5 mm (75) para fijar la correa de cuero textil (183) a la estructura, los extremos de la pieza 6 (6) tienen una redondez con radio de 7,5 mm.

2.3.3.2 Exoesqueleto de la Muñeca Modelo II: Diseñada para las manos pequeñas y medianas, tiene dos grados de libertad para permitir el movimiento de extensión, flexión, aducción y abducción de la muñeca; combinando los movimientos anteriores mediante programación por software, se genera el movimiento de rotación de la muñeca.

- **Interface Órtesis - Piel:** Corresponde a la misma descrita para el Exoesqueleto de la Muñeca Modelo I.

- **Interface Órtesis Pasiva:** Corresponde a los componentes descritos para el Exoesqueleto de la Muñeca Modelo I, pero con modificaciones de sus elementos:
 - La **pieza 15 (pieza metálica)** está representada en la figura 25, es una estructura metálica de acero inoxidable calibre 19 en forma de brazalete (15), que se ubica en la superficie dorsal del antebrazo, es el soporte para el exoesqueleto de la muñeca. Esta conformada por una superficie plana (136) en forma rectangular de 110 a 120 mm de longitud y 30 a 40 mm de altura, los vértices se encuentran redondeados con un radio de 5 mm (129); contiene también extensiones metálicas laterales como dos abrazaderas anteriores (131) y la del lado externo no visible en la figura, y abrazaderas posteriores (133 y 135), las cuales ajustan esta estructura al antebrazo; contiene también agujeros de 3 mm (130, 132, 137, 128) ubicados en las abrazaderas metálicas laterales anteriores y posteriores, por los cuales se fijará la pieza 15 (15) a los agujeros de 3 mm (105,107,109,111) de la pieza 13 (13) mediante ejes tipo remache (5). La pieza 15 (15) se encuentra cubierta por cuero textil y se fija mediante costura de hilo nylon a la pieza 1 (1) alrededor de las abrazaderas anteriores y posteriores (130, 133, 135), las cuales tienen un redondez en sus bordes de radio 3 mm (134) para evitar que existan superficies cortantes en el metal.
 - La **pieza 13 (pieza de acrílico fija)** está representada en las figuras 21 y 22, es una estructura de acrílico 3 mm en forma arqueada (13), está ubicada en la cara dorsal del antebrazo. Está conformada por una superficie plana rectangular (104) que contiene un orificio rectangular distal (103) con dimensiones de 35 x 4 mm, y el orificio rectangular proximal (108) con dimensiones de 55 x 4 mm; dichos orificios permiten a la pieza 13 (13) acoplarse a la pieza 14 (14) mediante ejes tipo remache (5); la pieza 13 tiene unas dimensiones entre 110 a 120 mm en las bases y 30 a 40 mm de altura, los bordes de la superficie rectangular se encuentran redondeados con un radio de 5 mm; la pieza 3 contiene también extensiones laterales curvas (106, 110), para ensamblarse a la pieza 15 (15) mediante ejes tipo remache (5), ubicados como ejes fijos a través de los agujeros de 3 mm (105,107,109,111) de la pieza 13 (13) y de los agujeros de 3 mm (130, 132, 137, 128) de la pieza 15 (15).

- La **pieza 14 (pieza de acrílico móvil)** está representada en las figuras 23 y 24, es una estructura de acrílico 3 mm en forma de nave (14), está conformada por una superficie plana (123), con unas dimensiones entre 110 a 120 mm en la bases y 45 mm de altura, en su lado distal tiene una prolongación medial anterior de 30 mm de ancho por 15 mm de alto, con bordes que tienen redondez radio 5 mm, en dicha prolongación se encuentran el agujero rectangular de 22 x 4 mm (112), el cual junto con el agujero de 3 mm (118) se acoplan a los agujeros rectangulares (103 y 108) de la pieza 13 (13), para permitir el desplazamiento distal – proximal y proximal – distal de la pieza 14 (14) sobre la pieza 13 (13); también contiene a ambos lados unas prolongaciones laterales en forma de “C”, cuya cara superior horizontal (114) se continúan con la caras laterales (124) mediante una curvatura de radio 5 mm (115), y se une a la base (123) mediante una curvatura de radio 5 mm, además contiene una prolongación posterior (122) que se continua con una especie de caja para el servomotor (186), dicha parte de la pieza de acrílico tiene la pared anterior vertical (125) de 22 x 51 mm, de la cual se desprenden las paredes laterales (119) de 20 x 30 mm, y la cara superior (121) de 22 x 45 mm, de esta ultima se continua en una pared vertical posterior (120) de 22 x 20 mm. La pieza 14 (14) sirve de soporte a los servomotores (171, 172 y 186), esta parte de la pieza tiene además unas prolongaciones laterales (113 y 116) con dimensiones de 20 mm de base x 15 mm de altura, las cuales sirven de abrazaderas a los servomotores (171 y 172), la base de estas prolongaciones es la prolongación de la cara superior (114) a ambos lados, mediante curvaturas de radio 5 mm (115) que cambian la dirección del acrílico. En los lados de la base de la pieza 14 (14) se encuentran unos espacios (117) donde se pega una cinta transparente doble cara para adherir la pieza a los servomotores (171 y 172).
- La **pieza 5 (remaches)** está representada en la figura 9, es una estructura de metal tipo remache doble cabeza (5), sus características ya fueron descritas para el exoesqueleto de muñeca modelo I.

- **Interface Órtesis Activa:** Corresponde a los componentes descritos para el Exoesqueleto de la Muñeca Modelo I, pero con modificaciones de sus elementos; además, cuenta con un servomotor posterior cuya palanca pequeña se articula a la pieza fija de acrílico, para desplazar lateralmente la pieza de acrílico móvil que contiene los servomotores.
 - La **pieza 10 (actuador)** está representada por las figuras 17 y 18, corresponden a servomotores pequeños de alta potencia, sus características ya fueron descritas para el exoesqueleto de muñeca modelo I.
 - La **pieza 11 (palanca grande del servomotor)** está representada en la figura 19, corresponde a la palanca grande del servomotor, sus características ya fueron descritas para el exoesqueleto de muñeca modelo I.
 - La **pieza 12 (palanca pequeña del servomotor)** está representada en la figura 20, corresponde a la palanca pequeña (12) del servomotor (186), está conformada por un cuerpo aplanado (102), que contiene el agujero de 3 mm (100) para fijarse al agujero rectangular de 21 x 4 mm (108) de la pieza de acrílico 13 (13), además contiene el agujero de 3 mm (101) para acoplarse al eje motriz (91) del servomotor (186) y así transmitir el movimiento del servomotor a la pieza 14 (14) lateralizándola hacia adentro o afuera del exoesqueleto base.
 - Las **piezas 6 y 7 (palancas de acrílico interna y externa)** están representadas por las figuras 10 a 14, corresponden a piezas arqueadas de acrílico 3 mm (6, 7), sus características ya fueron descritas para el exoesqueleto de muñeca modelo I.

2.3.3.3 Exoesqueleto de la Muñeca Modelo III: Diseñada para las manos grandes y muy grandes, tiene solo un grado de libertad para permitir el movimiento de extensión y flexión de la muñeca.

- **Interface Órtesis - Piel:** Corresponde a la misma descrita para el Exoesqueleto de la Muñeca Modelo I.
- **Interface Órtesis Pasiva:** Corresponde a los componentes descritos para el Exoesqueleto de la Muñeca Modelo I, pero

con modificaciones de sus elementos. La pieza metálica tiene una prolongación posterior para ampliar el área del exoesqueleto en contacto con el antebrazo, la pieza de acrílico fija tiene una prolongación posterior para ampliar el área del exoesqueleto, Y la pieza de acrílico móvil tiene una prolongación posterior para generar mas espacio y ensamblar los cuatro servomotores.

- La **pieza 15 (pieza metálica)** está representada en la figura 25, corresponde a la pieza metálica en forma de abrazadera (15), sus características ya fueron descritas para el exoesqueleto de muñeca modelo II.
- La **pieza 16 (pieza de acrílico fija)** está representada en la figura 26, es una estructura de acrílico 3 mm en forma arqueada (16), se ubica en la cara dorsal del antebrazo. Está conformada por una superficie plana rectangular (148) que contiene orificios rectangulares con dimensiones de 35 x 4 mm (139, 145, 147), los cuales permiten a la pieza 16 (16) acoplarse a la pieza 17 (17) mediante ejes tipo remache (5); la pieza 16 tiene unas dimensiones entre 110 a 120 mm en las bases y 30 a 40 mm de altura, los bordes de la superficie rectangular se encuentran redondeados con un radio de 5 mm (138); la pieza 16 contiene también extensiones laterales curvas (141, 144), para ensamblarse a la pieza 15 (15) mediante ejes tipo remache (5), ubicados como ejes fijos a través de los agujeros de 3 mm (140, 142, 143, 146) de la pieza 16 (16) y de los agujeros de 3 mm (130, 132, 137, 128) de la pieza 15 (15).
- La **pieza 17 (pieza de acrílico móvil)** está representada en las figuras 27 y 28, es una estructura de acrílico 3 mm en forma de nave (17), está conformada por una superficie plana (156), con unas dimensiones entre 110 a 120 mm en la bases y 90 mm de altura, en su lado distal tiene una prolongación medial anterior de 30 mm de ancho por 15 mm de alto, con bordes que tienen redondez radio 5 mm, en dicha prolongación se encuentran los agujeros de 3 mm (150, 163), los cuales junto con el agujero de 3 mm (157) se acoplan a los agujeros rectangulares (139, 145, 147) de la pieza 16 (16), para permitir el desplazamiento distal – proximal y proximal – distal de la pieza 16 (16) sobre la pieza 15 (15); también contiene unas prolongaciones laterales en forma de “C”, cuya cara superior horizontal (152, 161) se continua con la cara lateral (153, 160)

mediante una curvatura de radio 5 mm, y se une a la base (156) mediante una curvatura de radio 5 mm. La pieza 17 (17) sirve de soporte a los servomotores (190, 191, 192, 193), esta parte de la pieza tiene además unas prolongaciones laterales (151, 155, 159, 149) con dimensiones de 20 mm de base x 15 mm de altura, las cuales sirven de abrazaderas a los servomotores (190, 191, 192, 193), la base de estas prolongaciones es la prolongación de la cara superior (152, 161) mediante curvaturas de radio 5 mm que cambian la dirección del acrílico. En los lados de la base de la pieza 17 (17) se encuentran unos espacios (154, 158, 162, 165) donde se pega una cinta transparente doble cara para adherir la pieza a los servomotores (190, 191, 192, 193).

- La **pieza 5 (remaches)** está representada en la figura 9, es una estructura de metal tipo remache doble cabeza (5), sus características ya fueron descritas para el exoesqueleto de muñeca modelo I.
- **Interface Órtesis Activa:** Corresponde a una modificación de las piezas que conforman la interface órtesis activa del modelo I, a diferencia del modelo anterior, este modelo contiene cuatro servomotores de alta potencia ensamblados en la pieza móvil de acrílico.
 - La **pieza 10 (actuador)** está representada por las figuras 17 y 18, corresponden a servomotores pequeños de alta potencia, sus características ya fueron descritas para el exoesqueleto de muñeca modelo I.
 - La **pieza 11 (palanca grande del servomotor)** está representada en la figura 19, corresponde a la palanca grande del servomotor, sus características ya fueron descritas para el exoesqueleto de muñeca modelo I.
 - Las **piezas 6 y 7 (palancas de acrílico interna y externa)** están representadas por las figuras 10 a 14, corresponden a piezas arqueadas de acrílico 3 mm (6, 7), sus características ya fueron descritas para el exoesqueleto de muñeca modelo I.
 - La **pieza 8 (palanca de acrílico auxiliar)** está representada en la figura 14, es una estructura de acrílico 3 mm en forma de arco (8), está conformada por una parte arqueada (82) de radio 9 a 11 mm y

con 15 mm de altura, contiene los agujeros de 3 mm (80 y 81) en el extremo proximal para ensamblar la pieza 8 (8) a las palancas (195 y 196) de los servomotores (191 y 192), también contiene el agujero de 3 mm (78) para ensamblarse a los agujeros de 3 mm (65 y 77) de las palancas de acrílico interna y externa (6 y 7) mediante un eje tipo remache metálico (5).

2.3.3.4 Exoesqueleto de la Muñeca Modelo IV: Diseñada para unir cualquiera de los modelos anteriores a la órtesis robótica para la rehabilitación de la mano “PRO-Dix”. Consiste en cambiar las palancas de acrílico internas y externas por la palanca de acrílico auxiliar, y reemplazar el soporte de mano por el el exoesqueleto de mano. A continuación describiremos como se realizaría esta adaptación al Exoesqueleto de Muñeca Modelo I:

- **Interface Órtesis - Piel:** Corresponde al **protector del antebrazo** descrito para el Exoesqueleto de la Muñeca Modelo I, Cambiando el soporte de mano por el exoesqueleto “PRO-Dix”.
 - La **pieza 1 (protector del antebrazo)** está representada en las figuras 1 y 2, tiene forma de brazalete (1), sus características ya fueron descritas para el exoesqueleto de muñeca modelo I.
 - Órtesis robótica para la rehabilitación de las manos “PRO-Dix” corresponde a la órtesis robótica para la rehabilitación de las manos, actualmente se encuentra como prototipo utilizado para la rehabilitación de las manos en estudios clínicos, ya tiene solicitud de patente de invención radicada ante la Superintendencia de Industria y Comercio con el número NTC2016/0001196. No describiremos las características específicas de este exoesqueleto, solo indicaremos sus partes principales en la descripción de las figuras y la forma como puede ensamblarse al exoesqueleto “PRO-Wix”.
- **Interface Órtesis Pasiva:** Corresponde a las mismas piezas que conforman la interface órtesis activa del modelo I, II o III.
- **Interface Órtesis Activa:** Corresponde a una modificación de las palancas de acrílico interna y externa que conforman la interface órtesis activa del modelo I, II o III. A diferencia de los modelos anteriores, en este modelo solo se implementa la palanca auxiliar como extensión de las palancas de

los servomotores, en su extremo distal contiene un orificio por el cual puede unirse a las bases de los servomotores de la órtesis robótica “PRO-Dix”.

- La **pieza 8 (palanca auxiliar)** está representada en la figuras 14, tiene forma de brazalet (1), sus características ya fueron descritas para el exoesqueleto de muñeca modelo III. Adicionalmente a la descripción previa, esta pieza contiene el agujero de 3 mm (79) en el extremo distal, para ensamblarse a las cajas de acrílico (200 y 203) del prototipo exoesqueleto “PRO-Dix”.

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 o comerciales son:

- Es una innovación tecnológica, puesto que no existe hasta el momento una órtesis robótica de la muñeca con el mecanismo articular presentado por el PRO-Wix.
- La estructura mecánica y dinámica del exoesqueleto es un diseño exclusivo y único, ya que hasta el momento no se han creado exoesqueletos de mano con estas características.
- 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 la muñeca.
- El sistema de palancas de acrílico arqueadas permiten a los servomotores transmitir la fuerza a los soportes de la mano, facilitando los movimientos de flexión y extensión de la muñeca con actuadores pequeños ubicados en el antebrazo, disminuyendo el peso y el costo del exoesqueleto.
- El dispositivo es de bajo peso, frente a los exoesqueletos existentes, utiliza servomotores pequeños de alta potencia.
- El dispositivo es sencillo, práctico y seguro, se ha implementado de forma experimentan en pacientes posquirúrgicos de fractura de muñeca y en pacientes con discapacidad de mano posterior a enfermedad cerebrovascular, es una órtesis que complementa el programa de

rehabilitación convencional en pacientes crónicos, y apoya la movilización de la mano temprana en pacientes agudos.

- 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 derecha, para la mano izquierda es suficiente con invertir la orientación de las piezas (6, 7 y 9). Además, todas las dimensiones registradas en la descripción de los dibujos están basadas en las piezas para órtesis robóticas talla small (S), en la parte de fabricación de la invención se describen la variación de tamaño en las piezas para las diferentes tallas medium (M), Large (L) y Extralarge (XL):

2.4.1 Interface Órtesis - Piel: Consiste en dos piezas, una ubicada en el antebrazo del paciente y otra como soporte en la mano del paciente. La pieza del antebrazo es simplemente una tela de neopreno que se superpone a la cara dorsal del antebrazo y contiene dos correas de cuero textil con velcro en sus extremos, para ajustar la órtesis al antebrazo. La pieza de la mano es simplemente una espuma semidura enrollada en forma de cilindro, se cubre con cuero textil y se cosen correas formando vainas para que se introduzcan los dedos de la mano y las correas del exoesqueleto.

- La **figura 1** muestra la vista lateral interna del **protector del antebrazo** o pieza 1 (1), esta compuesto por una parte rectangular (20) con dimensiones de 90 x 110 mm, la cual se ubica en forma de arco sobre el antebrazo; contiene dos correas de cuero textil (18 y 19) con dimensiones de 130 x 35 mm, las cuales están fijadas mediante costura con hilo nylon en la cara lateral externa de la tela de neopreno (20) y se ajustan mediante tela velcro a la cara lateral interna de la misma tela de neopreno (20).
- La **figura 2** muestra la vista latero posterior del **protector del antebrazo** o pieza 1 (1), entre la tela arqueada de neopreno (20) y las correas de cuero textil (18 y 19) se forma un espacio tubular donde se fijará la pieza 1 (1) al antebrazo.
- La **figura 15** muestra la vista superior lateral interna del soporte de la mano o pieza 9 (9), consiste en una espuma semidura de 100 mm de ancho x 200 mm de largo x 50 mm de espesor, la cual se encuentra enrollada para formar un cilindro (88), el cual se encuentra cubierto por cuero textil; este

cilindro formado por espuma permite deformarse para adaptar la mano del paciente y contiene memoria para volver a su estado original; dicho cilindro presenta una superficie plana en las bases (86) de forma circular con diámetro de 100 mm, seguido por un área cónica (84) de 5 mm de espesor; contiene una correa de cuero textil (85) a cada lado, con dimensiones de 110 x 10 mm, a través de las cuales pasan las correas de cuero textil (182 y 183) de los arcos de acrílico (6 y 7) del exoesqueleto, formando una especie de vaina para evitar que las correas de cuero textil (182 y 183) se salgan del soporte; contiene en la superficie cilíndrica una correa de cuero textil (87) con dimensiones de 20 x 30 mm, para formar un arco por el que pasa el I dedo de la mano, y contiene en la superficie cilíndrica una correa de neopreno (89) que se extiende de base a base del cilindro, para formar un arco por donde pasan el I, II, III y IV dedos de la mano, dicha correa de neopreno contiene una prolongación proximal en forma de babero, para proteger la piel del paciente con el desplazamiento de las piezas de acrílico sobre la mano, igualmente tiene áreas rectangulares de tela velcro (83) a cada lado, con dimensiones de 15 x 30 mm, para ajustar las correas (182 y 183) del exoesqueleto. Las dimensiones del cilindro pueden variar de acuerdo al tipo de talla de la mano del paciente (small, medium, large, extralarge).

- La **figura 16** muestra la vista posterior lateral externa del soporte de mano o pieza 9 (9), describe los mismos componentes de la figura 15, y además en ella se observa una parte rectangular inferior (90) con dimensiones 15 x 100 mm, corresponde a tela velcro en la que se ajustan los extremos distales de las correas (182 y 183) del exoesqueleto, de tal forma que las palancas del exoesqueleto traccionan hacia arriba el soporte de mano, evitando realizar fuerzas directas sobre la mano del paciente, proporcionando un movimiento armónico angular de la muñeca en extensión de forma confortable. En el arco superior de neopreno (88) se observa una prolongación proximal tipo “babero” sobre la cual descansan las partes horizontales (67 y 74) de las palancas arqueadas de acrílico (6 y 7) respectivamente, protegiendo la piel del paciente con el movimiento hacia debajo de dichas palancas para desplazar la mano hacia abajo, proporcionando un movimiento angular de la muñeca en flexión.

2.4.2 Interface Órtesis Pasiva: Consiste en un exoesqueleto mecánico ubicado alrededor del antebrazo, muñeca y dorso de la mano. Esta estructura contiene una **pieza metálica** que se ajusta sobre el protector de neopreno del antebrazo, sobre ella se encuentra una **pieza de acrílico fija** que es la base del exoesqueleto, sobre esta última se articula una **base de acrílico móvil** que contiene los

servomotores y puede desplazarse hacia delante y hacia atrás sobre la pieza fija. Los componentes del exoesqueleto presentan modificaciones de dimensión y forma para conformar los diferentes modelos de la órtesis.

La **figura 3** muestra la vista superior de la pieza 2 (2) en forma de brazalete, corresponde a una estructura de acero inoxidable calibre 19, se ubica en la superficie dorsal del antebrazo, es el soporte para el exoesqueleto de la muñeca. Esta conformada por una superficie plana (27) en forma rectangular de 90 a 100 mm de longitud y 30 a 40 mm de altura, los vértices se encuentran redondeados con un radio de 5 mm; para evitar superficies cortantes que ocasionen daño al paciente; contiene también extensiones metálicas laterales en forma de abrazaderas anteriores (22 y 27) y abrazaderas posteriores (23 y 26), las cuales ajustan esta estructura al antebrazo; contiene también agujeros de 3 mm (21, 24, 25, 28) ubicados en las abrazaderas metálicas laterales anteriores y posteriores, por los cuales se fijará la pieza 3 (3) mediante ejes tipo remache (5). La pieza 2 (2) se encuentra cubierta por cuero textil y se fija mediante costura de hilo nylon a la pieza 1 (1) alrededor de las abrazaderas laterales anteriores y posteriores (22,23,26,27).

La **figura 4** muestra la vista superior lateral interna de la pieza 2 (2), en ella observamos como las extensión lateral anterior (22) y posteriores (23 y 26) permiten que la pieza metálica abrace el antebrazo del paciente. Igualmente la superficie plana rectangular (29) será la base para la estructura del exoesqueleto en acrílico.

La **figura 5** muestra la vista superior de la pieza 3 (3), es una estructura de acrílico 3 mm en forma arqueada (3), está ubicada en la cara dorsal del antebrazo sobre la pieza 2 (2). Está conformada por una superficie plana rectangular (31) que contiene orificios rectangulares con dimensiones de 35 x 4 mm (32, 36, 39), los cuales permiten a la pieza 3 (3) acoplarse a la pieza 4 (4) mediante ejes tipo remache (5); la pieza 3 tiene unas dimensiones entre 90 a 100 mm en las bases y 30 a 40 mm de altura, los bordes de la superficie rectangular se encuentran redondeados con un radio de 5 mm; la pieza 3 contiene también extensiones laterales curvas (30, 37), para ensamblarse a la pieza 2 (2) mediante ejes tipo remache (5), ubicados como ejes fijos a través de los agujeros de 3 mm (31, 34, 35, 38) de la pieza 3 (3) y de los agujeros de 3 mm (21, 24, 25, 28) de la pieza 2 (2).

La **figura 6** muestra la vista superior lateral interna de la pieza 3 (3), con sus mismos componentes, en ella podemos observar que la parte superior rectangular (33) se prolonga con partes laterales (30 y 37) las cuales forman una especie de arco para acoplarse sobre el dorso del antebrazo a la pieza 2 (2). Existe una variación aproximada de 45° de la trayectoria de la parte rectangular horizontal (33) para convertirse en las partes laterales (30 y 37). Los orificios rectangulares (32, 36 y 39) permiten que la pieza 4 (4) se desplace hacia delante y hacia atrás de la pieza 3 (3).

La **figura 7** muestra la vista superior posterior de la pieza 4 (4), la cual consiste en una estructura de acrílico 3 mm en forma de nave (4), está conformada por una superficie plana (49), con unas dimensiones entre 110 a 120 mm en la bases y 45 mm de altura, en su lado distal tiene una prolongación medial anterior de 30 mm de ancho por 15 mm de alto, con bordes que tienen redondez radio 5 mm, en dicha prolongación se encuentran los agujeros de 3 mm (40 y 60), los cuales junto con el agujero de 3 mm (50) se acoplan a los agujeros rectangulares (32, 36, 39) de la pieza 3 (3), para permitir el desplazamiento distal – proximal y proximal – distal de la pieza 4 (4) sobre la pieza 3 (3); también contiene unas prolongaciones laterales en forma de “C”, cuya cara superior horizontal (42, 57) se continua con la cara lateral (44, 55) mediante una curvatura de radio 5 mm (43, 56), y se une a la base (49) mediante una curvatura de radio 5 mm (45, 54). La pieza 4 (4) sirve de soporte a los servomotores (171 y 172), esta parte de la pieza tiene además unas prolongaciones laterales (41, 47, 52, 58) con dimensiones de 20 mm de base x 15 mm de altura, las cuales sirven de abrazaderas a los servomotores (171 y 172), la base de estas prolongaciones es la prolongación de la cara superior (42 y 57) mediante curvaturas de radio 5 mm (46, 53) que cambian la dirección del acrílico. En los lados de la base de la pieza 4 (4) se encuentran unos espacios (48, 51) donde se pega una cinta transparente doble cara para adherir la pieza a los servomotores (171 y 172).

La **figura 8** muestra la vista superior posterior lateral interna de la pieza 4 (4), en ella observamos con mayor claridad los espacios para los servomotores (171 y 172) que se adhieren mediante cinta de enmascarar doble cara transparente a la pieza 4 (4) justo en los espacios basales (48 y 51), también las abrazaderas de acrílico laterales (41, 47, 52, 58); además observamos los orificios (40, 50, 60) por los cuales se ensamblará la pieza 4 (4) a la pieza 3 (3) mediante ejes tipo remache (5).

La **figura 9** muestra la vista lateral de la pieza 5 (5), la cual es un eje tipo remache doble cabeza, compuesto por un cilindro central (62) de 3 a 4 mm de espesor x 10 a 15 mm de altura, las cabezas (61 y 63) con diámetros de 8 a 9 mm y espesor de 1 mm. Algunos de los ejes tipo remache contienen ejes tipo remache tornillo, los cuales pueden separarse permitiendo ensamblar y desensamblar los componentes según necesidad del paciente, además, muy útil para el mantenimiento y reparación del exoesqueleto.

La **figura 10** muestra la vista superior lateral interna de la pieza 6 (6), la cual es una pieza de acrílico 3 mm en forma de arco (6), está conformada por una parte arqueada (64) de radio 9 a 11 mm con 15 mm de altura, contiene los agujeros de 3 mm (69, 70) los cuales ensamblan a la palanca (75) del servomotor (171) mediante ejes tipo remache (5), también contiene el agujero de 3 mm (65) para ensamblarse al agujero de 3 mm (77) de la pieza de acrílico 7 (7) mediante ejes tipo remache, además el extremo distal de la pieza 6 (6) presenta una curvatura (68) con radio de 5 mm que se prolonga hacia la parte horizontal (67) con dimensiones 35 mm de largo x 15 mm de ancho, en dicha prolongación (67) se encuentran los agujeros de 1,5 mm (66) para fijar la correa de cuero textil (182) a

la estructura, los extremos de la pieza 6 (6) tienen una redondez con radio de 7,5 mm. Existe una distancia de 25 mm entre el agujero (69) y el agujero (70), y el agujero (65) se encuentra a 25 mm del vértice (68).

La **figura 11** muestra la vista inferior lateral externa de la pieza 6 (6), en ella observamos el cambio de dirección de la pieza a nivel del vértice (68), haciendo que la parte vertical (64) continúe en la parte horizontal (67), este cambio de dirección de la pieza, favorece que el torque de la palanca (175) del servomotor (171) obligue al soporte de la mano a flexionar la muñeca, la parte arqueada (64) permitirá que al flexionar la muñeca, las piezas del exoesqueleto no toquen la piel del paciente. En los agujeros (66) se coserá con hilo nylon la correa (182) que ajustará esta estructura al soporte de la mano.

La **figura 12** muestra la vista superior lateral externa de la pieza 7 (7), la cual es una estructura de acrílico 3 mm en forma de arco (7), está conformada por una parte arqueada (73) de radio 9 a 11 mm y con 15 mm de altura, contiene los agujeros de 3 mm (72, 73) los cuales se ensamblan a la palanca (176) del servomotor (172), también contiene el agujero de 3 mm (77) para ensamblarse al agujero de 3 mm (65) de la pieza de acrílico 6 (6) mediante un eje tipo remache metálico (5), además el extremo distal de la pieza 7 (7) presenta una curvatura con radio de 5 mm (76) que se prolonga hacia la parte horizontal (74) con dimensiones 35 mm de largo x 15 mm de ancho, en dicha prolongación (74) se encuentran los agujeros de 1,5 mm (75) para fijar la correa de cuero textil (183) a la estructura, los extremos de la pieza 6 (6) tienen una redondez con radio de 7,5 mm. Existe una distancia de 25 mm entre el agujero (72) y el agujero (73), y el agujero (67) se encuentra a 25 mm del vértice (76).

La **figura 13** muestra la vista inferior lateral interna de la pieza 7 (7), en ella observamos el cambio de dirección de la pieza a nivel del vértice (76), haciendo que la parte vertical (71) continúe en la parte horizontal (74), este cambio de dirección de la pieza, favorece que el torque de la palanca (176) del servomotor (172) obligue al soporte de la mano a flexionar la muñeca, la parte arqueada (71) permitirá que al flexionar la muñeca, las piezas del exoesqueleto no toquen la piel del paciente. En los agujeros (75) se coserá con hilo nylon la correa (183) que ajustará esta estructura al soporte de la mano.

La **figura 14** muestra la vista superior lateral externa de la pieza 8 (8), la cual es una estructura de acrílico 3 mm en forma de arco (8), está conformada por una parte arqueada (82) de radio 9 a 11 mm y con 15 mm de altura, contiene los agujeros de 3 mm (80 y 81) en el extremo proximal para ensamblar la pieza 8 (8) a las palancas (175 y 176) de los servomotores (171 y 172), también contiene el agujero de 3 mm (78) para ensamblarse al agujero de 3 mm (78) de otra pieza 8 (8) mediante un eje tipo remache metálico (5), además contiene el agujero de 3 mm (79) para ensamblarse a las cajas de acrílico (200 y 203) del prototipo exoesqueleto **PRO-Dix**, los extremos de la pieza 8 (8) tienen una redondez con

radio de 7,5 mm. Existe una distancia de 25 mm entre el agujero (80) y el agujero (81), y existe una distancia de 20 mm del agujero (78) al agujero (79).

La **figura 17** muestra la vista superior lateral del servomotor (10), el cual corresponde a un servomotor pequeño de alta potencia, con un torque de 36 a 44 kg/cm y con dimensiones son longitud de 43.7 mm, ancho de 22.4 mm y alto de 1.57 mm. Presenta las caras basal (95), laterales (94), una superficie con relieve tipo canales de 1 mm de alto por 1 mm de ancho (93), un eje motriz (91), un espacio para la etiqueta del producto (92). El eje motriz se une a las palancas del servomotor de diferente tamaño (11 y 12).

La **figura 18** muestra la cara lateral del servomotor (10), en ella observamos el cuerpo correspondiente a una superficie lisa superior (94) y una superficie irregular inferior (93) con ranuras de 1 mm de profundidad y 1 mm de ancho, la base del servomotor (95) es posible destaparla para realizar cambios en la estructura del mismo). El eje motriz (91) se encuentra sobre la cara superior.

La **figura 19** muestra la cara lateral de la palanca grande (11) del servomotor (10), está conformada por un cuerpo aplanado (97), que contiene los agujeros de 3 mm (98, 99) para fijarse a los agujeros de 3 mm (69, 70, 72, 73, 80 y 81) de las piezas arqueadas de acrílico (6, 7 y 8), además contiene el agujero de 3 mm (96) para acoplarse al eje motriz (91) del servomotor (10) y así transmitir el movimiento angular al soporte de la mano (9). La base de la palanca tiene 10 mm de ancho y la altura es de 50 mm.

La **figura 20** muestra la cara lateral de la palanca pequeña (12) del servomotor (10), específicamente esta palanca se usa en el servomotor (186) que se encuentra en la caja posterior de la pieza (14), está conformada por un cuerpo aplanado (102), que contiene el agujero de 3 mm (100) para ensamblarse al agujero rectangular de 21 x 4 mm (108) de la pieza de acrílico 3mm (13), de esta forma la palanca se desplazará hacia delante y hacia atrás limitada por dicho agujero (108), con el movimiento de la palanca la pieza 14 (14) de acrílico se desplazará hacia los lados (derecha a izquierda); además contiene el agujero de 3 mm (101) para acoplarse al eje motriz (91) del servomotor (186) y así transmitir el movimiento angular a la pieza (14) móvil del exoesqueleto. La base de la palanca tiene 10 mm de ancho y la altura es de 35 mm.

La **figura 21** muestra la vista superior lateral interna de la pieza 13 (13), la cual corresponde a una extensión posterior de la pieza 3 (3), es una estructura de acrílico 3 mm en forma arqueada (13), está ubicada en la cara dorsal del antebrazo. Está conformada por una superficie plana rectangular (104) que contiene un orificio rectangular distal (103) con dimensiones de 35 x 4 mm, y el orificio rectangular proximal (108) con dimensiones de 55 x 4 mm; dichos orificios permiten a la pieza 13 (13) acoplarse a la pieza 14 (14) mediante ejes tipo remache (5); la pieza 13 tiene unas dimensiones entre 110 a 120 mm en las bases y 30 a 40 mm de altura, los bordes de la superficie rectangular se encuentran

redondeados con un radio de 5 mm; la pieza 3 contiene también extensiones laterales curvas (106, 110), para ensamblarse a la pieza 15 (15) mediante ejes tipo remache (5), ubicados como ejes fijos a través de los agujeros de 3 mm (105,107,109,111) de la pieza 13 (13) y de los agujeros de 3 mm (130, 132, 137, 128) de la pieza 15 (15).

La **figura 22** muestra la vista superior posterior lateral de la pieza 13 (13), en ella se observan todos los agujeros de 3 mm (105,107,109,111), y los orificios rectangulares (103, 108) por los cuales se desplazará la pieza (14) y la palanca (12) del servomotor (186).

La **figura 23** muestra la vista superior de la pieza 14 (14), la cual, es una estructura de acrílico 3 mm en forma de nave (14), está conformada por una superficie plana (123), con unas dimensiones entre 110 a 120 mm en la bases y 45 mm de altura, en su lado distal tiene una prolongación medial anterior de 30 mm de ancho por 15 mm de alto, con bordes que tienen redondez radio 5 mm, en dicha prolongación se encuentran el agujero rectangular de 22 x 4 mm (112), el cual junto con el agujero de 3 mm (118) se acoplan a los agujeros rectangulares (103 y 108) de la pieza 13 (13), para permitir el desplazamiento distal – proximal y proximal – distal de la pieza 14 (14) sobre la pieza 13 (13); también contiene a ambos lados unas prolongaciones laterales en forma de “C”, cuya cara superior horizontal (114) se continúan con la caras laterales (124) mediante una curvatura de radio 5 mm (115), y se une a la base (123) mediante una curvatura de radio 5 mm, además contiene una prolongación posterior (122) que se continua con una especie de caja para el servomotor (186), dicha parte de la pieza de acrílico tiene la pared anterior vertical (125) de 22 x 51 mm, de la cual se desprenden las paredes laterales (119) de 20 x 30 mm, y la cara superior (121) de 22 x 45 mm, de esta ultima se continua en una pared vertical posterior (120) de 22 x 20 mm. La pieza 14 (14) sirve de soporte a los servomotores (171, 172 y 186), esta parte de la pieza tiene además unas prolongaciones laterales (113 y 116) con dimensiones de 20 mm de base x 15 mm de altura, las cuales sirven de abrazaderas a los servomotores (171 y 172), la base de estas prolongaciones es la prolongación de la cara superior (114) a ambos lados, mediante curvaturas de radio 5 mm (115) que cambian la dirección del acrílico. En los lados de la base de la pieza 14 (14) se encuentran unos espacios (117) donde se pega una cinta transparente doble cara para adherir la pieza a los servomotores (171 y 172).

La **figura 24** muestra la vista superior lateral interna de la pieza 14 (14), observamos con detalle el orificio rectangular (112) el cual se encuentra transversal al eje del antebrazo, y el orificio (118) por el cual se establece un punto fijo “pivote” de la pieza 14 (14) sobre la pieza 13 (13). Igualmente se observan las “cajas” conformadas por paredes de acrílico, para contener los servomotores (171, 172, 186).

La **figura 25** muestra la vista superior lateral interna de la pieza 15 (15), la cual es una extensión posterior de la pieza 2 (2), es una estructura metálica de acero inoxidable calibre 19 en forma de brazaletes (15), que se ubica en la superficie

dorsal del antebrazo, es el soporte para el exoesqueleto de la muñeca. Esta conformada por una superficie plana (136) en forma rectangular de 110 a 120 mm de longitud y 30 a 40 mm de altura, los vértices se encuentran redondeados con un radio de 5 mm (129); contiene también extensiones metálicas laterales en forma de abrazaderas anteriores (131) con dimensiones de 20 mm de base x 40 mm de altura y abrazaderas posteriores (133 y 135) con dimensiones de 60 mm de base x 50 mm de altura, las cuales ajustan esta estructura al antebrazo; contiene también agujeros de 3 mm (130, 132, 137, 128) ubicados en las abrazaderas metálicas laterales anteriores y posteriores, por los cuales se fijará la pieza 15 (15) a los agujeros de 3 mm (140, 142, 143, 146) de la pieza 16 (13) mediante ejes tipo remache (5). La pieza 15 (15) se encuentra cubierta por cuero textil y se fija mediante costura de hilo nylon a la pieza 1 (1) alrededor de las abrazaderas laterales anteriores y posteriores (130,133, 135), las cuales tienen un redondez en sus bordes de radio 3 mm (134) para evitar que existan superficies cortantes en el metal.

La **figura 26** muestra la vista superior de la pieza 16 (16), la cual es una extensión posterior de la pieza 3 (3), es una estructura de acrílico 3 mm en forma arqueada (16), se ubica en la cara dorsal del antebrazo. Está conformada por una superficie plana rectangular (148) que contiene orificios rectangulares con dimensiones de 35 x 4 mm (139, 145, 147), los cuales permiten a la pieza 16 (16) acoplarse a la pieza 17 (17) mediante ejes tipo remache (5); la pieza 16 tiene unas dimensiones entre 110 a 120 mm en las bases y 30 a 40 mm de altura, los bordes de la superficie rectangular se encuentran redondeados con un radio de 5 mm (138); la pieza 16 contiene también extensiones laterales curvas (141, 144), para ensamblarse a la pieza 15 (15) mediante ejes tipo remache (5), ubicados como ejes fijos a través de los agujeros de 3 mm (140, 142, 143, 146) de la pieza 16 (16) y de los agujeros de 3 mm (130, 132, 137, 128) de la pieza 15 (15).

La **figura 27** muestra la vista superior lateral interna de la pieza 17 (17), la cual es una extensión posterior de la pieza 4 (4), es una estructura de acrílico 3 mm en forma de nave (17), está conformada por una superficie plana (156), con unas dimensiones entre 110 a 120 mm en las bases y 90 mm de altura, en su lado distal tiene una prolongación medial anterior de 30 mm de ancho por 15 mm de alto, con bordes que tienen redondez radio 5 mm, en dicha prolongación se encuentran los agujeros de 3 mm (150, 163), los cuales junto con el agujero de 3 mm (157) se acoplan a los agujeros rectangulares (139, 145, 147) de la pieza 16 (16), para permitir el desplazamiento distal – proximal y proximal – distal de la pieza 16 (16) sobre la pieza 15 (15); también contiene unas prolongaciones laterales en forma de “C”, cuya cara superior horizontal (152, 161) se continua con la cara lateral (153, 160) mediante una curvatura de radio 5 mm, y se une a la base (156) mediante una curvatura de radio 5 mm. La pieza 17 (17) sirve de soporte a los servomotores (190, 191, 192, 193), esta parte de la pieza tiene además unas prolongaciones laterales (151, 155, 159, 149) con dimensiones de 20 mm de base x 15 mm de altura, las cuales sirven de abrazaderas a los servomotores (190, 191, 192, 193), la base de estas prolongaciones es la prolongación de la cara superior (152, 161) mediante curvaturas de radio 5 mm que cambian la dirección del

acrílico. En los lados de la base de la pieza 17 (17) se encuentran unos espacios (154, 158, 162, 165) donde se pega una cinta transparente doble cara para adherir la pieza a los servomotores (190, 191, 192, 193).

La **figura 28** muestra la vista superior de la pieza 17 (17), en ella observamos los orificios de 3 mm (157, 163 166) por medio de los cuales se ensambla la pieza 17 (17) a la pieza 16 (16), mediante ejes tipo remaches (5). Además, observamos los espacios (165, 154, 158, 162) donde ubicaremos los servomotores (190, 191, 192, 193).

La **figura 29** muestra la vista superior del ensamblaje entre el servomotor (10) y la palanca grande (11), justo en el eje motriz (91). Este ensamblaje es común a todos los modelos de exoesqueletos de muñeca descritos.

La **figura 30** muestra la vista superior del ensamblaje entre el servomotor (10) y la palanca pequeña (12), justo a través del orificio (101) que se ensambla al eje motriz (91). Este ensamblaje solo está descrito para el exoesqueleto de muñeca modelo IV, que contiene el servomotor posterior.

La **figura 31** muestra la vista superior posterior del primer paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2) y la base de acrílico 3 mm pieza 3 (3), observamos el espacio entre las dos piezas es de 5 mm, y el ensamblaje justo a nivel de los orificios laterales (31, 34, 35, 38), observamos las abrazaderas posteriores (23 y 26) formando una especie de arco para adaptarse al antebrazo, observamos los agujeros rectangulares (32, 36, 39) por donde circularán los remaches que unen la pieza 3 (3) a la pieza 4 (4).

La **figura 32** muestra la vista superior lateral interna del primer paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2) y la base de acrílico fija (3), observamos el espacio entre las dos piezas y los puntos de ensamblaje en los agujeros de 3 mm (31 y 34), además las abrazaderas anteriores (22) y posteriores (23, 26). Igualmente observamos los agujeros rectangulares (32, 36, 39) por donde circularán los remaches que unen la pieza 3 (3) a la pieza 4 (4).

La **figura 33** muestra la vista superior lateral interna del segundo paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), y la base de acrílico móvil (4), observamos los ejes tipo remache de fijación (168 y 169) que pasan por los agujeros de 3 mm (50, 60) de la pieza 4 (4) y por los agujeros rectangulares (36, 39). Observamos el espacio entre la pieza 2 (2) y la pieza 3 (3), y el eje tipo remache (167) que ensambla la pieza 3 (3) a la pieza 2 (2) a través de los agujeros de 3 mm (24) de la pieza 2 y (34) de la pieza 3 (3).

La **figura 34** muestra la vista superior posterior del segundo paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la

pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), y la base de acrílico móvil (4); observamos los ejes tipo remache de fijación (168, 169 y 170) que pasan por los agujeros de 3 mm (40, 50, 60) de la pieza 4 (4) y por los agujeros rectangulares (32, 36, 39) de la pieza 3 (3). Observamos el espacio entre la pieza 2 (2) y la pieza 3 (3).

La **figura 35** muestra la vista superior lateral interna del tercer paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), y los servomotores (171 y 172), observamos los ejes tipo remache de fijación (168 y 169) que pasan por los agujeros de 3 mm (50, 60) de la pieza 4 (4) y por los agujeros rectangulares (36, 39) de la pieza 3 (3).

La **figura 36** muestra la vista superior posterior del tercer paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), y los servomotores (171 y 172); observamos los ejes tipo remache de fijación (168, 169 y 170) que pasan por los agujeros de 3 mm (40, 50, 60) de la pieza 4 (4) y por los agujeros rectangulares (32, 36, 39) de la pieza 3 (3).

La **figura 37** muestra la vista superior lateral externa del tercer paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), y los servomotores (171 y 172); observamos los ejes tipo remache de fijación (169 y 170) que pasan por los agujeros de 3 mm (40, 60) de la pieza 4 (4) y por los agujeros rectangulares (32, 39) de la pieza 3 (3), además las extensiones laterales de la pieza metálica (2) que corresponden a las abrazaderas anteriores (22, 27) y posteriores (23, 26). Observamos también los ejes tipo remache (172, 172) que fijan la pieza 3 de acrílico (3) a la pieza metálica (2).

La **figura 38** muestra la vista superior lateral externa del cuarto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), los servomotores (171 y 172) y las palancas grandes (175, 176); además observamos que las palancas (175, 176) están en posición vertical.

La **figura 39** muestra la vista superior anterior externa del cuarto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla entre la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), los servomotores (171 y 172) y las palancas grandes (175, 176); además observamos que las palancas (175, 176) están en posición vertical.

La **figura 40** muestra la vista superior lateral externa del cuarto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), los servomotores (171 y 172) y las palancas grandes (175, 176); además observamos que las palancas (175, 176) están en posición oblicua, inclinadas hacia delante.

La **figura 41** muestra la vista superior anterior externa del cuarto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), los servomotores (171 y 172) y las palancas grandes (175, 176); además observamos que las palancas (175, 176) están en posición oblicua, inclinadas hacia adelante.

La **figura 42** muestra la vista superior lateral interna del quinto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), los servomotores (171 y 172), las palancas grandes (175, 176) y las piezas arqueadas de acrílico 3 mm (6 y 7); además observamos que las palancas (175 y 176) están en posición oblicua, inclinadas hacia atrás, unidas a las palancas de acrílico (6 y 7) mediante los ejes tipo remache (178, 179) que atraviesan los agujeros (98 y 99) de la palanca (175) y los agujeros (69 y 70) de la pieza arqueada de acrílico (6).

La **figura 43** muestra la vista superior lateral externa del quinto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), los servomotores (171 y 172), las palancas grandes (175, 176) y las piezas arqueadas de acrílico 3 mm (6 y 7); además observamos que las palancas (175 y 176) están en posición oblicua, inclinadas hacia atrás, unidas a las palancas de acrílico (6 y 7) mediante los ejes tipo remache (178, 180, 181) que atraviesan los agujeros (98 y 99) de la palanca (176) y el agujero (99) de la palanca (175), además los agujeros (72 y 73) de la pieza arqueada de acrílico (7) y el agujero (69) de la pieza arqueada de acrílico (6).

La **figura 44** muestra la vista lateral externa del quinto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), la palanca grande (176) y la pieza arqueada de acrílico 3 mm (7); además observamos que la palanca (176) están en posición oblicua, inclinadas hacia atrás, unida a la palanca de acrílico (7) mediante los ejes tipo remache (180, 181) que atraviesan los agujeros (98 y 99) de la palanca (176) y los agujeros (72 y 73) de la pieza arqueada de acrílico (7).

La **figura 45** muestra la vista superior lateral externa del quinto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), los servomotores (171 y 172), las palancas grandes (175, 176) y las piezas arqueadas de acrílico 3 mm (6 y 7); además observamos que las palancas (175 y 176) están en posición casi horizontal, inclinadas hacia adelante, unidas a las palancas de acrílico (6 y 7) mediante los ejes tipo remache (178, 179, 181) que atraviesan los agujeros (98 y 99) de la palanca (175) y el agujero (99) de la palanca (176), además los agujeros (69, 70) de la pieza arqueada de acrílico (6) y el agujero (72) de la pieza arqueada de acrílico (7).

La **figura 46** muestra la vista superior anterior externa del quinto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), los servomotores (171 y 172), las palancas grandes (175, 176) y las piezas arqueadas de acrílico 3 mm (6 y 7); además observamos que las palancas (175 y 176) están en posición casi horizontal, inclinadas hacia adelante, unidas a las palancas de acrílico (6 y 7) mediante los ejes tipo remache (178, 179, 181) que atraviesan los agujeros (98 y 99) de la palanca (175) y el agujero (99) de la palanca (176), además los agujeros (69, 70) de la pieza arqueada de acrílico (6) y el agujero (72) de la pieza arqueada de acrílico (7).

La **figura 47** muestra la vista lateral externa del quinto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), la palanca grande (176) y la pieza arqueada de acrílico 3 mm (7); además observamos que la palancas (176) están en posición casi horizontal, inclinadas hacia adelante, unida a la palanca de acrílico (7) mediante el eje tipo remache (181) que atraviesan el agujeros (99) de la palanca (176) y el agujero (72) de la pieza arqueada de acrílico (7).

La **figura 48** muestra la vista superior posterior externa del quinto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), los servomotores (171 y 172), las palancas grandes (175, 176) y las piezas arqueadas de acrílico 3 mm (6 y 7); además observamos que las palancas (175 y 176) están en posición oblicua, inclinadas hacia adelante, unidas a las palancas de acrílico (6 y 7) mediante los ejes tipo remache (178, 179, 180, 181) que atraviesan los agujeros (98 y 99) de las palancas (175 y 176), además los agujeros (69, 70) de la pieza arqueada de acrílico (6) y el agujero (72, 73) de la pieza arqueada de acrílico (7).

La **figura 49** muestra la vista lateral externa del quinto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), la palanca grande (176) y la pieza arqueada de acrílico 3 mm (7); además observamos que la palancas (176) están en posición oblicua, inclinadas hacia adelante, unida a la palanca de acrílico (7) mediante el eje tipo remache (181) que atraviesan el agujeros (99) de la palanca (176) y el agujero (72) de la pieza arqueada de acrílico (7).

La **figura 50** muestra la vista superior posterior externa del sexto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2) la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), los servomotores (171 y 172), las palancas grandes (175, 176), las piezas arqueadas de acrílico 3 mm (6 y 7) y la pieza cilíndrica (9); las palancas 175 y 176) se encuentran en posición oblicua, inclinadas hacia atrás, además observamos que

las correas de cuero textil (182 y 183) fijarán las piezas arqueadas de acrílico (6 y 7) al soporte cilíndrico de la mano.

La **figura 51** muestra la vista lateral externa del sexto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), la palanca grande (176), la pieza arqueada de acrílico 3 mm (7) y la pieza cilíndrica (9) que da soporte a la mano; además observamos que la palanca (176) están en posición oblicua, inclinadas hacia atrás, de esta forma elevan el soporte de la mano (9).

La **figura 52** muestra la vista lateral interna del sexto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), la palanca grande (175), la pieza arqueada de acrílico 3 mm (6) y la pieza cilíndrica (9) que da soporte a la mano; además observamos que la palanca (175) están en posición oblicua, inclinadas hacia atrás, de esta forma eleva el soporte de la mano (9).

La **figura 53** muestra la vista lateral externa del séptimo paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza protectora de neopreno (1), la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), la palanca grande (176), la pieza arqueada de acrílico 3 mm (7) y la pieza cilíndrica (9) que da soporte a la mano; además observamos que la palanca (176) están en posición oblicua - inclinadas hacia atrás, de esta forma elevan el soporte de la mano (9). Las correas de cuero textil (18, 19) ajustan la base de neopreno al antebrazo, y **la elevación de la pieza cilíndrica (9) ocasionan la extensión de la muñeca, sin que las piezas fijas del exoesqueleto toquen la piel del paciente.**

La **figura 54** muestra la vista superior anterior externa del sexto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), los servomotores (171 y 172), las palancas grandes (175, 176), las piezas arqueadas de acrílico 3 mm (6 y 7) y la pieza cilíndrica (9); las palancas 175 y 176 se encuentran en posición oblicua – inclinadas levemente hacia adelante, además observamos que las correas de cuero textil (182 y 183) fijarán las piezas arqueadas de acrílico (6 y 7) al soporte cilíndrico de la mano (9).

La **figura 55** muestra la vista superior anterior externa del sexto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), la palanca grande (176), la piezas arqueada de acrílico 3 mm (7) y la pieza cilíndrica (9); la palancas 176 se encuentran en posición oblicua – inclinadas levemente hacia adelante, esto ocasiona que la pieza cilíndrica (9) se ubique al mismo nivel del exoesqueleto en la muñeca, además observamos que la correa de cuero textil (183) fijará las piezas arqueadas de acrílico (7) al soporte cilíndrico de la mano (9).

La **figura 56** muestra la vista lateral externa del séptimo paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla el protector de neopreno en el antebrazo (1), la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), la palanca grande (176), la piezas arqueada de acrílico 3 mm (7) y la pieza cilíndrica (9); la palancas (176) se encuentran en posición oblicua – inclinadas levemente hacia adelante, esto ocasiona que la pieza cilíndrica (9) se ubique al mismo nivel del exoesqueleto en la muñeca, además observamos que la correa de cuero textil (183) fijará las pieza arqueadas de acrílico (7) al soporte cilíndrico de la mano (9). El protector de neopreno (1) se ajusta a la mano mediante las correas de cuero textil (18, 19), **la inclinación leve hacia adelante de las palancas (175, 176) ubica la mano en posición de reposo en el plano horizontal.**

La **figura 57** muestra la vista lateral externa del sexto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), la palanca grande (176), la pieza arqueada de acrílico 3 mm (7) y la pieza cilíndrica (9) que da soporte a la mano; además observamos que la palanca (176) están en posición casi horizontal - inclinadas hacia adelante, de esta forma bajan el soporte de la mano (9); además observamos que la correas de cuero textil (183) fijará la pieza arqueada de acrílico (7) al soporte cilíndrico de la mano (9).

La **figura 58** muestra la vista superior anterior externa del sexto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), los servomotores (171 y 172), las palancas grandes (175, 176), las piezas arqueadas de acrílico 3 mm (6 y 7) y la pieza cilíndrica (9); las palancas 175 y 176) se encuentran en posición casi horizontal – inclinadas hacia adelante, además observamos que las correas de cuero textil (182 y 183) fijarán las piezas arqueadas de acrílico (6 y 7) al soporte cilíndrico de la mano (9).

La **figura 59** muestra la vista lateral interna del sexto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla entre la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), la palanca grande (175), la pieza arqueada de acrílico 3 mm (6) y la pieza cilíndrica (9) que da soporte a la mano; además observamos que la palanca (175) están en posición oblicua, inclinadas casi horizontal - hacia adelante, de esta forma baja el soporte de la mano (9).

La **figura 60** muestra la vista lateral externa del séptimo paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, observamos como se acopla el protector de neopreno en el antebrazo (1), la pieza metálica (2), la base de acrílico fija (3), la base de acrílico móvil (4), la palanca grande (176), la piezas arqueada de acrílico 3 mm (7) y la pieza cilíndrica (9); la palancas (176) se encuentran en posición oblicua – inclinadas casi horizontal - hacia adelante, esto ocasiona que la pieza cilíndrica (9) baje; además observamos que la correa de cuero textil (183) fijará las pieza arqueadas de acrílico (7) al soporte cilíndrico de la mano (9). El protector de

neopreno (1) se ajusta a la mano mediante las correas de cuero textil (18, 19), **la inclinación casi horizontal hacia adelante de las palancas (175, 176) ubica la mano en posición de flexión, de tal forma que las palancas arqueadas de acrílico (6 y 7) no tocan la piel de la mano.**

La **figura 61** muestra la vista superior lateral interna del primer paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo II, observamos como se acopla, observamos la pieza metálica inferior (15) ensamblada a la pieza de acrílico 3 mm superior (13), generando un espacio de 5 mm entre las placas planas; observamos los orificios rectangulares (103 y 108) por los cuales se desplazará la pieza de acrílico 3 mm que contiene los servomotores (14). Las abrazaderas anterior (131) y posterior (133) de la pieza metálica (2), y los agujeros de 3 mm (105, 107) de la pieza de acrílico (13).

La **figura 62** muestra la vista superior lateral interna del segundo paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo II, observamos la pieza metálica inferior (15), ensamblada a la pieza de acrílico 3 mm superior (13), a su vez ensamblada a la pieza de acrílico 3 mm (14); observamos los remaches (184, 185) que unen la pieza 14 (14) a la pieza 13 (13), conformando un eje fijo pivote (184) y una articulación móvil entre el agujero rectangular (112) y el remache (185), para permitir que la pieza 14 (14) se desplace hacia los lados; observamos los agujeros rectangulares (103) de la pieza 15 y el (112) de la pieza 14 (14), la abrazadera posterior interna (184) de la pieza metálica 15).

La **figura 63** muestra la vista superior del tercer paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo II, observamos la pieza metálica inferior (15), ensamblada a la pieza de acrílico 3 mm superior (13), a su vez ensamblada a la pieza de acrílico 3 mm (14) y los servomotores (171, 172 y 186) ensamblados a las cajas de acrílico de la pieza 14 (14); observamos los remaches (184, 185) que unen la pieza 14 (14) a la pieza 13 (13), conformando un eje fijo pivote (184) y una articulación móvil entre el agujero rectangular (112) y el remache (185), observamos los agujeros rectangulares (103) de la pieza 15 y el (112) de la pieza 14 (14).

La **figura 64** muestra la vista superior lateral interna del tercer paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo II, observamos la pieza metálica inferior (15), ensamblada a la pieza de acrílico 3 mm superior (13), a su vez ensamblada a la pieza de acrílico 3 mm (14) y los servomotores (171, 172 y 186) ensamblados a las cajas de acrílico de la pieza 14 (14); observamos los remaches (184, 185) que unen la pieza 14 (14) a la pieza 13 (13), conformando un eje fijo pivote (184) y una articulación móvil entre el agujero rectangular (112) y el remache (185), observamos los agujeros rectangulares (103) de la pieza 15 y el (112) de la pieza 14 (14).

La **figura 65** muestra la vista superior lateral interna del cuarto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo II, observamos la pieza metálica inferior (15), ensamblada a la pieza de acrílico 3 mm superior (13), a su vez

ensamblada a la pieza de acrílico 3 mm (14) y los servomotores (171, 172 y 186) ensamblados a las cajas de acrílico de la pieza 14 (14); además observamos la palanca pequeña (187) del servomotor (186), la cual al desplazarse produce una lateralización de la pieza 14 (14); observamos la palanca (175) del servomotor (171) inclinada levemente hacia atrás, y unida a la piezas arqueadas de acrílico (6); observamos la pieza de arqueada de acrílico (7) la cual junto con la pieza (6), traccionan la base de la mano (9) hacia arriba.

La **figura 66** muestra la vista superior lateral externa del cuarto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo II, observamos la pieza metálica inferior (15), ensamblada a la pieza de acrílico 3 mm superior (13), a su vez ensamblada a la pieza de acrílico 3 mm (14) y los servomotores (171, 172 y 186) ensamblados a las cajas de acrílico de la pieza 14 (14); además observamos la palanca pequeña (187) del servomotor (186), la cual al desplazarse produce una lateralización de la pieza 14 (14); observamos la palanca (176) del servomotor (172) inclinada levemente hacia atrás, y unida a la piezas arqueadas de acrílico (7); observamos la pieza de arqueada de acrílico (6) la cual junto con la pieza (7), traccionan la base de la mano (9) hacia arriba.

La **figura 67** muestra la vista superior lateral interna del primer paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo III, observamos la pieza metálica inferior (15), ensamblada a la pieza de acrílico 3 mm superior (16); observamos los orificios rectangulares (139, 143 y 147) por los cuales se desplazará la pieza de acrílico 3 mm que contiene los servomotores (17). Las abrazaderas anterior (131) y posteriores (133, 135) de la pieza metálica (15), y los agujeros de 3 mm (140, 142) de la pieza de acrílico (16), por los cuales esta pieza se ensambla a la pieza 15 (15) mediante ejes tipo remache.

La **figura 68** muestra la vista superior lateral interna del segundo paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo III, observamos la pieza metálica inferior (15), ensamblada a la pieza 16 (16) y a la pieza 17 (17); observamos los ejes tipo remache (187, 188) mediante los cuales la pieza 17 (17) se ensambla a la pieza 16 (16), y los orificios rectangulares (139, 147) por los cuales se desplazará la pieza de acrílico 3 mm que contiene los servomotores (17) hacia delante y hacia atrás.

La **figura 69** muestra la vista superior posterior del segundo paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo III, observamos la pieza metálica inferior (15), ensamblada a la pieza 16 (16) y a la pieza 17 (17); observamos los ejes tipo remache (187, 188, 189) mediante los cuales la pieza 17 (17) se ensambla a la pieza 16 (16), y los orificios rectangulares (139, 147) por los cuales se desplazará la pieza de acrílico 3 mm que contiene los servomotores (17) hacia delante y hacia atrás.

La **figura 70** muestra la vista superior posterior interna del tercer paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo III, observamos la pieza metálica inferior (15), ensamblada a la pieza 16 (16), ensamblada a la pieza 17 (17), los

servomotores (190, 191, 192, 193) ensamblados a la pieza 17 (17), y las palancas grandes (194, 195, 196, 197) ensambladas a los servomotores; observamos los ejes tipo remache (187, 188, 189) mediante los cuales la pieza 17 (17) se ensambla a la pieza 16 (16); observamos como se ha desplazado la pieza 17 (17) hacia delante.

La **figura 71** muestra la vista superior posterior interna del cuarto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo III, observamos la pieza metálica inferior (15), ensamblada a la pieza 16 (16), ensamblada a la pieza 17 (17), los servomotores (190, 191, 192, 193) ensamblados a la pieza 17 (17), las palancas grandes (194, 195, 196, 197) ensambladas a los servomotores y las palancas arqueadas de acrílico 6, 7, 198 y 199) ensambladas a las palancas grandes (194, 195, 196, 197) de los servomotores (190, 191, 192, 193) respectivamente; observamos como se ha desplazado la pieza 17 (17) hacia delante.

La **figura 72** muestra la vista superior posterior interna del quinto paso para el ensamblaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo III, observamos la pieza metálica inferior (15), ensamblada a la pieza 16 (16), ensamblada a la pieza 17 (17), los servomotores (190, 191, 192, 193) ensamblados a la pieza 17 (17), las palancas grandes (194, 195, 196, 197) ensambladas a los servomotores, las palancas arqueadas de acrílico 6, 7, 198 y 199) ensambladas a las palancas grandes (194, 195, 196, 197) de los servomotores (190, 191, 192, 193) respectivamente y la pieza cilíndrica 9 (9) ensamblada a las palancas arqueadas de acrílico; observamos como se ha desplazado la pieza 17 (17) hacia delante; observamos que la pieza.

La **figura 72** muestra la vista superior posterior interna del ensamblaje del Exoesqueleto de la Muñeca Modelo II con las órtesis robótica “**PRO-Dix**”. Observamos el ensamblaje de la pieza metálica (2) con la pieza de acrílico fija (3), la pieza de acrílico móvil (4) sobre la pieza de acrílico fija (3), los servomotores (171, 172) contenidos en la pieza de acrílico fija (4), las palancas grandes (175 y 176) de los servomotores (171, 172) están ensambladas a las palancas de acrílico (214, 215) que corresponden a las palancas de acrílico auxiliares (8), a través de los agujeros de 3 mm (80, 81) de las palancas de acrílico auxiliares (214, 215) y a través de los agujeros (98, 99) de las palancas grandes (175, 176) de los servomotores (171, 172). Los extremos distales de las palancas de acrílico auxiliares (214, 125) se encuentran ensamblados a las cajas de acrílico que contienen los servomotores del “PRO-Dix”, mediante un eje tipo remache (5) que atraviesa el orificio de 3 mm (79) de la palanca arqueada de acrílico (214, 125) y la cara lateral de las bases de acrílico 3 mm (200 y 203) que contienen los servomotores (209, 216). Las palancas de los servomotores (213, 219) se articulan a las piezas sobre las falanges proximales de los dedos (201 y 204), estas a su vez se articulan a las sobre las falanges distales de los dedos (202 y 205), mientras que las palancas de acrílico (210, 217) crean un eje pivote en su extremo proximal, para obligar a las piezas sobre las falanges distales (202, 205) moverse en la misma dirección de las piezas sobre las falanges proximales (201, 204), a medida que las palancas (213 y 219) de los servomotores (209 y 216) transmiten

el movimiento del eje motriz a las piezas de acrílico sobre las falanges proximales de los dedos (201, 204). Los ejes tipo remache pequeños (206, 207, 208, 200, 218, 220, 221) que sirven de ejes articulares a todas las piezas.

La **figura 74** muestra la vista superior posterior externa del ensamblaje del Exoesqueleto de la Muñeca Modelo II con las órtesis robótica “**PRO-Dix**”.

La **figura 75** muestra la vista superior anterior externa del ensamblaje del Exoesqueleto de la Muñeca Modelo II con las órtesis robótica “**PRO-Dix**”.

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 los antebrazos, muñecas y manos; sin embargo, consideramos que es posible la fabricación industrial de las piezas protector del antebrazo y soporte de mano, elaborando las tallas estándar identificadas por las siglas de la palabra inglesa (S: small - pequeña, M: medium - mediana y L: large – grande, XL: Extra - large).

La funcionalidad de los protectores de neopreno y cuero textil, son 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 muñeca puedan moverse desde cero grados en reposo, hasta 60 grados en flexión y 45 grados en extensión.
- 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 del antebrazo y el soporte de la mano:

- Para la fabricación del **protector del antebrazo** (1) es suficiente con cortar una pieza rectangular de neopreno grueso con dimensiones 90 x 110 mm para la talla S, aumentando a 110 x 140 mm para la talla M, 130 x 170 mm para la talla L, y 170 x 200 mm para la talla XL. Para la fabricación de las correas de cuero (18 y 19) se tienen en cuenta las dimensiones 130 x 30 para la talla S, aumentando a 150 x 35 para la talla M, 175 x 35 para la talla

L, y 200 x 35 para la talla XL. Las correas de cuero textil se cosen con hilo nylon a la cara externa de la tela de neopreno, en los extremos libres de las correas de cuero se cose con hilo nylon un área rectangular de tela velcro, para que se adhiera a la cara interna del neopreno, formando un espacio tubular que representa el antebrazo (ver pieza 1 - figura 2)

- Para la fabricación del **soporte de mano** (9) es suficiente con cortar una pieza rectangular de espuma semidura con dimensiones de 100 mm de ancho x 200 mm de largo x 50 mm de espesor, posteriormente se enrollada para formar un cilindro (88), el cual se cubrirá con cuero textil; las dimensiones de la espuma varían según cada tamaño de la mano así: 110 x 200 x 50 mm para la talla M, 120 x 220 x 50 para la talla L, 120 x 230 x 50 para la talla XL. Sobre la superficie plana en las bases del cilindro (86), se ubica una correa de cuero textil (85) con dimensiones de 110 x 10 mm, y en la superficie curva del cilindro se ubicará una correa de cuero textil (87) con dimensiones de 20 x 30 mm, y una correa de neopreno (89) con dimensiones 150 x 20 mm, con una prolongación proximal en forma de babero de 50 x 15 mm, sobre la cual se coserán rectángulos de tela velcro (83) a cada lado, con dimensiones de 15 x 30 mm. En la superficie curva del cilindro se cosera una pieza rectangular de tela velcro (90) con dimensiones 15 x 100 mm.
 - Las dimensiones de los componentes descritos, pueden variar de paciente a paciente, y será suficiente tomar las medidas del paciente y ajustar el tamaño de las piezas.
- Recomendaciones Generales:
 - Todas las superficies de la piel que entre en contacto con las piezas de la órtesis robótica deben estar cubiertas por protectores de neopreno o cuero textil.
 - Las piezas rectangulares de cuero textil en forma de correas ajustarán los protectores de neopreno a la cara anterior del antebrazo.
 - 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 mejor apariencia.

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):** Una vez cortadas las piezas de acrílico se debe 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.
- **Quinta 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.
- **Sexta 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 bisturí pasándolo 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.
- **NOTA:** Para la pieza metálica en acero inoxidable recomendamos la fabrique una empresa que trabaje con metales pesados y pueda cortar y pulir los bordes hasta 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.

- Exoesqueleto de Muñeca Modelo I: Corresponde a la estructura mecatrónica que dará movimiento a la muñeca con un grado de libertad para manos pequeñas y medianas (tallas S y M), para su fabricación seguiremos los siguientes pasos:
 - Cubrimos la pieza metálica (2) con cuero textil por la cara que da hacia el exterior, dejando un espacio de 10 mm de cuero que sobrepase la pieza por todos sus bordes.
 - Cosemos los bordes libres de cuero al protector del antebrazo (1) de tal forma que la pieza metálica (1) quede centrada y ningún borde metálico pueda tener contacto con la piel.
 - Ensamblamos la pieza de acrílico fija (3) a la pieza metálica (2), colocando ejes tipo remaches metálicos que pasarán por los agujeros de 3 mm (31, 34, 35, 38) de la pieza de acrílico fija (3) y por los agujeros de 3 mm (21, 24, 25, 28) de la pieza metálica (2). Tal como se ilustra en las figuras 31 y 32.
 - Ensamblamos la pieza de acrílico móvil (4) a la pieza de acrílico fija (3), colocando ejes tipo remaches metálicos que pasarán por los agujeros de 3 mm (40, 50, 60) de la pieza de acrílico móvil (4) y por los orificios rectangulares (32, 36, 39) de la pieza de acrílico fija. Tal como se ilustra en las figuras 33 y 34.
 - Ensamblamos los servomotores (171, 172) a la pieza de acrílico móvil (4), para ello colocamos cinta de montaje doble cara transparente en los espacios (48, 51) de la pieza de acrílico móvil (4) y sobre la cinta ubicaremos los servomotores (171, 172) de tal forma que sus ejes motriz queden atrás. Tal como se ilustra en las figuras 35, 36 y 37.
 - Ensamblamos las palancas grandes (175, 176) a los servomotores (171, 172), mediante un tornillo que el fabricante envía, el cual atraviesa el

- orificio (96) de la palanca (11) y el eje motriz (91) del servomotor (10). Tal como se muestra en las figuras 17, 18 y 29, 38.
- Verificamos el movimiento de las palancas hacia arriba y hacia abajo, tal como se muestra en las figuras 38, 39, 40 y 41.
 - Ensamblamos la palanca de acrílico interna (6) a la palanca (175) del servomotor (171), mediante los ejes tipo remaches tornillos (178 y 179) que atraviesa los agujeros de 3 mm (69, 70) de la palanca de acrílico (6) y los agujeros de 3 mm (98 y 99) de la palanca (175) del servomotor (171). Tal como se muestra en las figuras 10, 11, 42, 43, 45, 46 y 48.
 - Ensamblamos la palanca de acrílico externa (7) a la palanca (176) del servomotor (172), mediante los ejes tipo remaches tornillos (180 y 181) que atraviesa los agujeros de 3 mm (72, 73) de la palanca de acrílico (7) y los agujeros de 3 mm (98 y 99) de la palanca (176) del servomotor (172). Tal como se muestra en las figuras 12, 13, 43, 44, 45, 46, 47, 48 y 49.
 - Verificamos el movimiento de las palancas de acrílico hacia arriba y hacia abajo, tal como se muestra en las figuras 42 a 49.
 - Ensamblamos el soporte de la mano (9) a las palancas de acrílico interna y externa (6, 7), haciendo que las correas de cuero textil (182, 183) pasen por las correas de cuero textil (85) a cada lado de las bases del cilindro, y se ajusten mediante tela velcro sobre las superficies del cilindro (83 y 90). Tal como se muestra en las figuras 50 a 60.
- Exoesqueleto de Muñeca Modelo II: Corresponde a la estructura mecatrónica que dará movimiento a la muñeca con tres grados de libertad, para su fabricación seguiremos los pasos descritos anteriormente, excepto que se cambiarán las piezas que corresponden a este modelo de la siguiente forma: La pieza metálica (2) se cambia por la pieza metálica (15), la pieza de acrílico fija (3) se cambia por la pieza de acrílico fija (13) y la pieza de acrílico móvil (4) se cambia por la pieza de acrílico móvil (14).
- Ensamblamos la pieza metálica (15) a la pieza de acrílico fija (13), mediante ejes tipo remache metálicos que atraviesan los agujeros de 3 mm (130, 132, 137, 128) de la pieza metálica (15) y los agujeros de 3 mm (105, 107, 109, 111) de la pieza de acrílico fija (13). Tal como se ilustra en las figuras 21, 22, 25 y 61.
 - Ensamblamos la pieza de acrílico móvil (14) a la pieza de acrílico fija (13), mediante ejes tipo remache (184, 185) que pasan por el agujero de 3 mm (118) y el agujero rectangular (112) de la pieza de acrílico móvil (14) respectivamente, y por los agujeros rectangulares (108, 103) de la

pieza de acrílico fija (13) respectivamente. Tal como se ilustra en las figuras 21, 22, 23, 24 y 62.

- Ensamblamos los servomotores (171, 172) a la pieza de acrílico móvil (14), para ello colocamos cinta de montaje doble cara transparente en los espacios (48, 51) de la pieza de acrílico móvil (14) y sobre la cinta ubicaremos los servomotores (171, 172) de tal forma que sus ejes motriz queden atrás. Igualmente ensamblamos el servomotor (186) a la caja posterior de la pieza móvil de acrílico (14), de tal forma que el eje motriz mire hacia abajo para ensamblarlo a la palanca pequeña (187).
 - Utilizamos un eje tipo remache metálico que atravesará el orificio de 3 mm (100) de la palanca pequeña (187) del servomotor (186) y el agujero rectangular (108) de la pieza de acrílico fija (13). Tal como se muestra en las figuras 65 y 66.
 - Seguimos los pasos descritos para el montaje del Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, ya que las piezas palancas grandes (175, 176) de los servomotores (171, 17), palancas de acrílico interna (6) y externa (7), soporte de la mano (9), son las mismas.
 - Verificamos el movimiento lateral del exoesqueleto, moviendo la palanca pequeña (187) del servomotor (186), de tal forma que la estructura se desplace hacia el lado interno o externo del exoesqueleto. Tal como se muestra en las figuras 65 y 66.
- Exoesqueleto de Muñeca Modelo III: Corresponde a la estructura mecatrónica que dará movimiento a la muñeca con un grados de libertad para manos grandes y muy grandes (tallas L y XL), para su fabricación seguiremos los pasos descritos anteriormente, excepto que se cambiarán las piezas que corresponden a este modelo de la siguiente forma: La pieza metálica (2) se cambia por la pieza metálica (15), la pieza de acrílico fija (3) se cambia por la pieza de acrílico fija (16) y la pieza de acrílico móvil (4) se cambia por la pieza de acrílico móvil (17).
- Ensamblamos la pieza metálica (15) a la pieza de acrílico fija (16), mediante ejes tipo remache metálicos que atraviesan los agujeros de 3 mm (130, 132, 137, 128) de la pieza metálica (15) y los agujeros de 3 mm (140, 142, 143, 146) de la pieza de acrílico fija (16). Tal como se ilustra en las figuras 25, 26 y 67.
 - Ensamblamos la pieza de acrílico móvil (17) a la pieza de acrílico fija (16), mediante ejes tipo remache (188, 187, 189) que pasan por el agujero de 3 mm (150, 157, 164) de la pieza de acrílico móvil (17), y por

los agujeros rectangulares (139, 145, 147) de la pieza de acrílico fija (16). Tal como se ilustra en las figuras 26, 27, 28, 68, 69 Y 70.

- Ensamblamos los servomotores (191, 192, 193, 194) a la pieza de acrílico móvil (17), para ello colocamos cinta de montaje doble cara transparente en los espacios (165, 154, 158, 162) de la pieza de acrílico móvil (17) y sobre la cinta ubicaremos los servomotores (191, 192, 193, 194) de tal forma que sus ejes motriz queden atrás. Tal como se muestra en las figuras 27, 28, 70, 71 y 72.
- Ensamblamos las palancas grandes (194, 195, 196, 197) a los servomotores (190, 191, 192, 193), mediante un tornillo que el fabricante envía, el cual atraviesa el orificio (96) de la palanca (11) y el eje motriz (91) del servomotor (10). Tal como se muestra en la figuras 17, 18 y 70, 71 y 72.
- Ensamblamos la palanca de acrílico interna (6) a la palanca (194) del servomotor (190), mediante los ejes tipo remaches tornillos que atraviesa los agujeros de 3 mm (69, 70) de la palanca de acrílico (6) y los agujeros de 3 mm (98 y 99) de la palanca (194) del servomotor (190). Tal como se muestra en las figuras 10, 11, 72 y 73.
- Ensamblamos la palanca de acrílico externa (7) a la palanca (197) del servomotor (193), mediante los ejes tipo remaches tornillos que atraviesa los agujeros de 3 mm (72, 73) de la palanca de acrílico (7) y los agujeros de 3 mm (98 y 99) de la palanca (197) del servomotor (190). Tal como se muestra en las figuras 12, 13, 43, 44, 45, 46, 47, 48 y 49.
- Ensamblamos las palancas de acrílico auxiliares (198, 199) a las palancas (194, 195) de los servomotores (191, 192) respectivamente, mediante los ejes tipo remaches tornillos que atraviesa los agujeros de 3 mm (80, 81) de la palancas auxiliares de acrílico (194, 195) y los agujeros de 3 mm (98 y 99) de las palancas (194, 195) de los servomotores (191, 192). Tal como se muestra en las figuras 10, 11, 14, 70, 71 y 72.
- Ensamblamos el soporte de la mano (9) a las palancas de acrílico interna y externa (6, 7), haciendo que las correas de cuero textil (182, 183) pasen por las correas de cuero textil (85) a cada lado de las bases del cilindro, y se ajusten mediante tela velcro sobre las superficies del cilindro (83 y 90). Tal como se muestra en la figura 72.

- Exoesqueleto de Muñeca Modelo IV: Corresponde a la estructura mecatrónica que dará movimiento a la muñeca con diferentes grados de libertad según se implemente, y se ensamblará a la órtesis robótica “PRO-Dix”. Para ello seguiremos los siguientes pasos:
 - Ensamblamos el protector del antebrazo, la pieza metálica, la pieza fija de acrílico, la pieza móvil de acrílico, los servomotores y las palancas de los servomotores. Tal como se ha ilustrado para los diferentes modelos de exoesqueleto de muñeca descritos previamente.
 - Reemplazamos las palancas de acrílico interna (6) y externa (7) por las palancas de acrílico auxiliares (8).
 - Ensamblamos las palancas de acrílico auxiliares a las palancas propias de los servomotores, mediante ejes tipo remache que pasarán por los agujeros (98, 99) de las palancas grandes (11) de los servomotores (10), y por los agujeros de 3 mm (80, 81) de la palancas auxiliares de acrílico (8).
 - Reemplazamos el soporte de la muñeca (9) por el exoesqueleto PRO-Dix.
 - Para el ejemplo en el Exoesqueleto de Muñeca Modelo I, ensamblamos las piezas de acrílico auxiliares (214, 215) a las bases de acrílico (200, 203) que contienen los servomotores (209, 216), mediante un eje tipo remache que atraviese las paredes laterales de las bases de acrílico (200, 203) y los orificios de 3 mm (79) de las piezas de acrílico auxiliares (8), que para este ejemplo, corresponden a las piezas de acrílico auxiliares (214, 215). Tal como se muestra en las figuras 14, 73, 74 y 75.

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 Uno R3 o 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 del antebrazo, 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 o 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;
Servo myservo2;
Servo myservo3;
Servo myservo4;
Servo myservo5;
int pos      = 0;
int pos2     = 0;
const int LEDVD = 04;
const int LEDAZ = 03;
```

```
void setup()
{
  myservo1.attach(5);
```

```

myservo2.attach(6);
myservo2.attach(7);
myservo2.attach(8);
myservo2.attach(9);

pinMode(LEDVD, OUTPUT);
pinMode(LEDZ, OUTPUT);
pinMode(LEDZ, OUTPUT);
pinMode(LEDZ, OUTPUT);
}

void loop()
{
  pos2 = 100;
  for(pos = 55; pos <= 100; pos +=1)
  {
    pos2 -=1;
    digitalWrite(LEDVD, HIGH);
    digitalWrite(LEDZ, LOW);
    digitalWrite(LEDZ, LOW);
    myservo1.write(pos);
    myservo2.write(pos);
    myservo3.write(pos2);
    myservo4.write(pos2);
    myservo5.write(pos);
    delay(15);
  }
  delay(5000);

  pos2 = 55;
  for(pos = 100; pos >= 55; pos -=3)
  {
    pos2 +=3;
    digitalWrite(LEDZ, HIGH);
    digitalWrite(LEDVD, LOW);
    digitalWrite(LEDZ, LOW);
    myservo1.write(pos);
    myservo2.write(pos);
    myservo3.write(pos2);
    myservo4.write(pos2);
    myservo5.write(pos);
    delay(15);
  }
  delay(5000);
}

```

2.3 Aplicaciones industriales que satisface la invención:

La órtesis robótica PRO-Wix tiene aplicaciones de rehabilitación pasiva y activa de la muñeca, para pacientes con algún grado de discapacidad de cualquier etiología (Lesiones Neurológicas Periféricas, Lesiones Musculares, Lesiones Tendinosas, Lesiones Neurológicas Centrales o fracturas de la muñeca). La órtesis PRO-Wix 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-Wix 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 en la base de los robots.



JUAN DAVID MORENO ARANGO
CC: 75.076.197 de Manizales
Inventor y Solicitante.



JULIAN ALBERTO MORENO ARANGO
CC: 75.084.785 de Manizales
Inventor y Solicitante.