

**DISEÑO DE PROTOTIPO ELECTRÓNICO
PARA TERAPIA FÍSICA DE MUÑECA
AFECTADA POR SÍNDROME DEL
TÚNEL DEL CARPO**

**ELECTRONIC PROTOTYPE DESIGN
FOR PHYSICAL WRIST THERAPY
AFFECTED BY CARPAL TUNNEL
SYNDROME**

**DESENHO DE PROTÓTIPO
ELETRÔNICO PARA
FISIOTERAPIA DO PUNHO
AFETADO PELA SÍNDROME
DO TÚNEL DO CARPO**

**Jonathan Javier Vargas Flórez
Andrea Lache-Muñoz
Claudia Caro-Ruiz**

Facultad de Ingeniería Electrónica,
Universidad Manuela Beltrán.
claudia.ruiz@docentes.umb.edu.co

Fecha de Recepción: 20 de septiembre de 2019
Fecha aprobación: 06 de marzo de 2020

Resumen

El presente trabajo describe el proceso de diseño de un prototipo electrónico para terapia física, pasiva, de muñeca afectada por Síndrome del Túnel de Carpo (STC), la enfermedad laboral de más alta frecuencia en nuestro país, y que causa mayor número de incapacidades temporales y permanentes.

El trabajo tuvo lugar en cuatro grandes etapas: la primera, de revisión documental sobre aparatos de esas características disponibles en el mercado actual, y de prototipos y simulaciones realizadas por diferentes investigadores; otra de escritura de la propuesta en concordancia con lo anterior, la siguiente, de construcción, observación y diseño en computador del dispositivo, y la última correspondiente al análisis de resultados y conclusiones.

Con financiación propia, primero se construyó el aparato para comprender mejor la lógica de su diseño, con atención a las necesidades terapéuticas de flexión y extensión de la muñeca y así, llegar a la proyección por computador. Se realizó el control y programación de un servomotor MG966, mediante el programa Arduino; el dispositivo es un Arduino 2560 diseñado mediante Autodesk Inventor. El aparato realiza movimientos de flexión y extensión a 65°, cada uno, que permiten rehabilitar la muñeca afectada por STC para liberar el nervio mediano.

Palabras clave— síndrome del túnel del carpo, terapia física pasiva, flexión, extensión, servomotor MG996R 11kg, Arduino mega, polimetilmetacrilato, autodesk inventor.

Abstract

This paper describes the process of designing an electronic prototype for physical, passive, wrist therapy affected by Carpo Tunnel Syndrome (STC), the highest frequency occupational disease in our country, and which causes the highest number of temporary and permanent disabilities. The work took place in four major stages: the first, a documentary review of such devices available in the current market, and prototypes and simulations by different researchers; another writing of the proposal in accordance with the above, the next, of construction, observation and computer design of the device, and the last corresponding to the analysis of results and conclusions. With its own funding, the device was first built to better understand the logic of its design, with attention to the therapeutic needs of bending and extension of the wrist and thus, reach the projection by computer. Control and programming of an MG966 servo motor was carried out, using the Arduino program; the device is an Arduino 2560 designed using Autodesk Inventor. The device performs bending and extension movements at 65 degrees, each, which allow the STC-affected wrist to be rehabilitated to release the median nerve.

Keywords— Carpal tunnel syndrome, passive physical therapy, bending, extension, Servomotor MG996R 11kg, Arduino Mega, Polymethylmethacrylate, Autodesk Inventor

Resumo

Este artigo descreve o processo de concepção de um protótipo eletrônico para terapia física, passiva e de pulso afetada pela Síndrome do Túnel carpo (STC), a doença ocupacional de maior frequência em nosso país, e que causa o maior número de incapacidades temporárias e permanentes. O trabalho ocorreu em quatro grandes etapas: a primeira, uma revisão documental desses dispositivos disponíveis no mercado atual, e protótipos e simulações de diferentes pesquisadores; outro texto da proposta de acordo com o acima, o seguinte, de construção, observação e desenho computacional do dispositivo, e o último correspondente à análise de resultados e conclusões. Com financiamento próprio, o dispositivo foi construído inicialmente para entender melhor a lógica de seu design, com atenção às necessidades terapêuticas de dobra e extensão do pulso e, assim, alcançar a projeção pelo computador. Foi realizado o controle e a programação de um servomotor MG966, utilizando-se o programa Arduino; o dispositivo é um Arduino 2560 projetado usando Autodesk Inventor. O dispositivo realiza movimentos de dobra e extensão a 65 graus, cada um, o que permite que o pulso afetado pelo STC seja reabilitado para liberar o nervo mediano.

Palavras-chave— Síndrome do túnel do carpo, fisioterapia passiva, dobra, extensão, Servomotor MG966R 11kg, Arduino Mega, Polymethylmethacrilate, Autodesk Inventor.

Introducción

De acuerdo con el informe de la Federación de Aseguradores Colombianos (FASECOLDA), citado en el documento técnico de la Subdirección de Seguridad y Salud en el Trabajo de la Secretaría Distrital de Integración Social (SDIS, 2015, p. 7) «6.891 enfermedades laborales (E.E.L.L) se presentaron en Colombia en el 2009, 9.411 en 2010, 9.117 en 2011, 9.524, en el 2012 y 10.189 en 2013. En el 2010 los desórdenes músculo – esqueléticos (DME) representaron el 85% del total de casos de enfermedad laboral, y entre éstos, el Síndrome del Túnel Carpiano (STC) tiene una tasa de incidencia del 36%».

El Síndrome del Túnel del Carpo consiste en una neuropatología en la que el nervio mediano cuyo recorrido va por los brazos desde sus lugar de origen, en las vértebras cervicales, hasta la mano, se ve presionado al nivel de la muñeca por inflamación crónica de los tendones que se encuentran dentro del canal del carpo (tendinitis), y por la constante presión sobre el ligamento transversal que se ubica sobre ellos formando el túnel, provocando dolor, pérdida de la sensibilidad de la mano y deterioro del movimiento de la articulación desde una fase leve, en la que se inicia intervención médica con ajuste del estilo de vida y/o terapia física, hasta una avanzada, en la que pudiera ser necesaria la cirugía para la descompresión del nervio mediante corte del ligamento transversal (Rueda, 2019).

La muñeca es la estructura anatómica que forma la articulación entre el antebrazo y la mano mediante los huesos carpales. Está dividida en dos partes: la articulación carpiana

que une al radio con los huesos de la primera hilera del carpo, y la articulación medio carpiana cuya función es la unión entre los primeros huesos del carpo y la unión de la segunda hilera de huesos del carpo, en ambos casos mediante membranas interóseas (Medina, Benet y Marco, 2016).

Los dos sistemas de articulación de la muñeca permiten realizar dos pares de movimientos: flexión – extensión, y la aducción (inclinación hacia el cúbito) – abducción (inclinación hacia el radio). También se realiza en la muñeca un movimiento de circunducción. El último par de movimientos es 60% responsabilidad de la articulación medio carpiana (Medina et al, 2016).

En su artículo para MediSur, Medina González, Benet Rodríguez y Maro Martínez (2016), explican:

El movimiento de flexión, es decir, la inclinación de la palma de la mano hacia la cara anterior del antebrazo, se inicia en la segunda hilera del carpo que provoca la tensión de los ligamentos de la articulación mediocarpiana. Este movimiento de flexión varía entre unos 70 a 90 grados y en él las articulaciones intercarpianas intervienen en aproximadamente un 60 % y la articulación radiocarpiana en un 40 %.

El movimiento de extensión, o sea, la aproximación de la cara dorsal de la mano hacia el dorso del antebrazo, tiene un arco de movilidad entre 65 y 85 grados y, a diferencia del movimiento de flexión, este movimiento se debe fundamentalmente a la articulación radiocarpiana que aporta aproximadamente

el 66 % del rango, y menos a las articulaciones mediocarpianas que contribuyen con el 34 %.

En cuanto al trabajo de recuperación funcional de la muñeca y mano, en SDIS (2015) se explica que: «es necesario promover su actividad, minimizar complicaciones físicas por la falta de uso, y aumentar la fuerza, resistencia y coordinación que faciliten el ajuste y el retorno al trabajo y actividades rutinarias normales.

La terapia y uso de aparatos para el tratamiento del STC tienen como objetivo promover la desinflamación de los tendones del canal, y del ligamento cruzado, para liberar el nervio mediano y evitar que su axón llegue a comprometerse hasta el desgaste funcional más prolongado o irreversible de la articulación.

La terapia física de muñeca se enfoca en trabajar los ejercicios de rehabilitación por etapas, y por pares antagónicos de movimientos: flexión-extensión, aducción-abducción. Igualmente se enfoca en trabajar el fortalecimiento de la articulación para que, a medida que avanza la terapia, su función se restablezca.

Atendiendo a las características de la patología y a los requerimientos de la terapia física que implican la descompresión del nervio mediano, se hizo una revisión documental y comercial de los aparatos disponibles en el mercado cuyo fin específico fuera la descompresión del nervio mediano al nivel de la muñeca para mejorar el pronóstico de STC. Se encontró que la mayoría están diseñados para otras patologías de miembro superior, y si

se enfocan en la muñeca, no es para descomprimir el nervio. De ese modo se planteó el proyecto de diseñar un dispositivo con el objetivo concreto de brindar apoyo terapéutico en el transcurso de la neuropatía del Síndrome del Túnel del Carpo.

Adicionalmente, el aparato debía ser de fácil uso para los pacientes que consideren la posibilidad de acceder a la tecnología de rehabilitación desde su propio hogar, por lo tanto, los materiales de construcción debían ser livianos, seguros y de bajo costo para sus potenciales usuarios.

La importancia del aparato alude a la atención específica de casos de STC cuya fisioterapia debe apoyar movimientos de flexión y extensión de la articulación de la muñeca para evitar mayor inflamación de los tendones del canal carpiano, al igual que los movimientos sin compensación de la gravedad, y la postura no neutra de la mano mayor a 15° que ejerza presión constante sobre el ligamento transversal y pueda inducir presión sobre el nervio, o mayor inflamación de los tendones.

Planteamiento del problema

La tabla 1 que aparece a continuación, muestra una relación comparativa de los trabajos académicos revisados para el planteamiento del problema, al igual que de los dispositivos disponibles en el mercado que fueron revisados, también, con el mismo propósito.

Cada una de las referencias, en la parte superior de la primera fila, indican donde puede ser encontrada la cita completa del trabajo o aparato consultado. Las columnas Rinderknetch, M. (2012) y Ávila, P. (2018) de la tabla corresponden con la referencia Gómez, J., Moreno J., Gil, G., Becerra, J y Orozco, C. (2016). A la referencia Destarac, M. (S.f.) corresponden las columnas Hocoma. (S.f.) y Medicalexpo. (S.f.). En adelante, dentro de la tabla son descritas las patologías para los que fueron construidos cada uno de los dispositivos, y las características de la biomecánica de la muñeca que con un diagnóstico de STC es necesario atender.

Tabla 1. Comparativo de dispositivos para terapia física de miembro superior

Referencias	Asociación de fisioterapeutas españoles – AFE. (s.f.)	Medina G., C.E., Benet R., M. y Marco M., F. (2016)	Khokhar, Z., Xiao, Z., Sheridan C., y Menon, C. (S.f.)	D. Williams, H.I. Krebs, N. Hogan. (2001).	Rinderknecht, M. (2012)	Ávila, P. (2018)	Gómez, J., Moreno J., Gil, G., Becerra, J y Orozco, C. (2016)	Motorika. (S.f.)	Hocoma. (S.f.)	Medicalexp. (S.f.)
Características										
Lesión atendida	Distrofia muscular por lesión de medula, embolia y otras.	Hombro y codo en lesiones del SNC	Parálisis de miembro superior por embolia	Fisioterapia de muñeca	Parálisis miembro superior		Distrofia motriz moderada a severa	Neuropatología de cualquier etiología		Distrofia muscular parcial o total
Flexión°y extensión°muñeca	70°	70°/65°	NO	SI	SI	SI	ENTRENAMIENTO DE AGARRA Y SOLTAR		SI	SI
Aducción° Abducción° muñeca	40°	15°/30°	NO	SI	SI	SI			SI	SI
Supinación° Pronación° muñeca	NO	90°/90°	NO	NO	NO	NO			NO	SI
Soporte antigraedad	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Corrección postural	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI
Atención a nervio mediano	NO	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI
Disponibilidad en el mercado	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI
Portabilidad	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO
Independencia del paciente en fisioterapia	NO	SI	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO

Fuente: Autores

El problema del cual surge esta investigación se observa en la tabla, donde varios aparatos de la relación allí establecida, se enfocan en la terapia de la muñeca, pero también de otros segmentos corporales del miembro superior, o varios pares de movimientos en él, lo que los hace dispositivos grandes y de uso complejo, en cuyo caso se necesita de guía profesional.

De otra parte, también es posible explicar que sólo uno de los aparatos revisados es, específicamente, para fisioterapia de muñeca, pero no es portable, por lo tanto, no genera autonomía en el paciente que es tratado con él. Precisamente la autonomía es lo más afectado

en el transcurso del Síndrome del Túnel de Carpo, pues muchas de las actividades diarias dependen del movimiento de las manos.

Es importante anotar, en especial porque no se deduce de la tabla, que los casos leves de Síndrome del Túnel del Carpo son atendidos con ajuste del estilo de vida, con medicamentos antiinflamatorios, con férulas de inmovilización y corrección postural temporal, y con la promoción de pausas activas (Internet medical publishing, 2015). La remisión de la enfermedad suele ser en unos pocos meses.

Cuando el STC persiste y genera distrofia motriz, además de dolor permanente con paso por

otras intervenciones terapéuticas, el número de terapias físicas que el paciente debe cumplir es alto, de lo que también se infiere que para los desplazamientos es necesaria la asistencia de otra persona, con riesgo de que el mismo movimiento y el estrés retrasen la recuperación.

Entre los ejercicios más importantes para tratar el STC, tanto en etapa preoperatoria como posoperatoria, están los movimientos de flexión y extensión de la muñeca, además de la flexión y extensión de los dedos (Asociación de fisioterapeutas españoles), que puede realizar el mismo paciente o que de un modo pasivo (no esfuerzo del paciente), el terapeuta realiza.

Por otro lado, la terapia física de cualquier miembro del cuerpo se realiza por etapas: de menor a mayor dificultad, la rehabilitación física va ocurriendo, y como también se puede deducir de la figura 1, a medida que el número de movimientos atendidos en rehabilitación asciende, también se eleva en complejidad el aparato diseñado para ella, de modo que la dedicación sólo a la articulación de la muñeca bien valdría la pena por medio de un dispositivo de fácil manejo y transporte.

Así, de un problema visible en todos los tópicos explicados antes, en la presente investigación se propuso la tarea de diseño de un dispositivo electrónico para apoyo de terapia física y pasiva de muñeca, de los pacientes diagnosticados con Síndrome del Túnel de Carpo cuyo movimiento se haya deteriorado, ocasionando incapacidad temporal o definitiva, de modo que su autonomía se haya visto reducida en un alto porcentaje, también.

Resultados

A. Materiales y métodos.

1) Servo motor.

Un servomotor es un tipo especial de motor eléctrico que permite controlar la velocidad y posición del eje de rotación, en un

momento dado. Está diseñado para moverse determinada cantidad de grados de ida y retorno, y luego mantenerse fijo en una posición (García, 2016).

a. Modelo SERVO-MG996R Tower Pro-11Kg

Este Servo es un motor eléctrico del tipo 'paso a paso' es de alto rendimiento, compacto, con engranajes metálicos de tamaño estándar. Incluye accesorios y tornillos para montaje en cualquier proyecto. Puede rotar aproximadamente 180°, la mitad en cada sentido (ida y retorno). Facilita el trabajo con diversidad de plataformas; para su uso con Arduino, se debe conectar el cable naranja al pin 9 ó 10 y usar la Librería «Servo» incluida en el IDE de Arduino (Naylamp Mechatronics, s.f.).

Para la posición 0° el pulso es de 0.6ms, para 90° es de 1.5ms y para 180° 2.4ms. Posee un conector universal tipo «S» que encaja perfectamente en la mayoría de los receptores de radio control incluyendo los Futaba, JR, GWS, Cirrus, Hitec y otros. Los cables en el conector están distribuidos de la siguiente forma: Café = Tierra (GND), Rojo = VCC (5V), Naranja = Señal de control (PWM). Es importante alimentar por separado el microcontrolador y los servos, ya que el ruido eléctrico puede dar lugar a errores en la ejecución del programa, o en todo caso

agregar un capacitor de 100uF entre 5V y GND (Tecnología servomotores, 2019).

- **Especificaciones Técnicas.**

Modelo: MG996R
 Torque: 9.4kg/cm (4.8V), 11kg/cm (6V)
 Voltaje de operación: 4.8 – 7.2V
 Velocidad de Operación (4.8V sin carga): 0.2 seg / 60 grados
 Velocidad de Operación (6V sin carga): 0.16 seg / 60 grados
 Tamaño: 40,6 x 19,8 x 42,9 mm
 Peso: 55g
 Plug: JR, FUTABA general
 Angulo de Rotación: 180° máximo
 Material engranajes: Metal
 Pulso ciclo: 20mS
 Ancho del pulso: entre 600uS y 2400uS
 Rango de Temperatura: -30 a +60 °C

2) El microcontrolador: Arduino Mega

El Arduino posee 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reset y una entrada para la alimentación de la placa. La comunicación entre la computadora y Arduino se produce a través del Puerto Serie. Posee un convertidor usb-serie, por lo que sólo se necesita conectar el dispositivo a la computadora utilizando un cable USB como el que utilizan las impresoras (Arduino, 2019).

a. Especificaciones técnicas.

Microcontrolador: ATmega2560
 Voltaje Operativo: 5V
 Voltaje de Entrada: 7-12V
 Voltaje de Entrada(límites): 6-20V
 Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
 Pines análogos de entrada: 16
 Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA

Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA
 Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)
 SRAM: 8KB
 EEPROM: 4KB
 Clock Speed: 16 MHz

3) Plástico externo.

El Polimetilmetacrilato (PMMA) se obtiene de la polimerización del metacrilato de metilo. Para el presente trabajo se usa en su presentación de lámina para termoformado o para mecanizado

El acrílico compite, pero se destaca, frente a otros materiales como el policarbonato (PC) o el poliestireno (PS), por su resistencia a la intemperie y al rayado, y por su transparencia. En medicina se usa para la construcción de aparatos de rehabilitación, dada su resistencia y seguridad para el paciente (Infouruguay, s.f.).

Entre sus propiedades destacan: ligereza, transparencia, resistencia a la luz, a los rayos ultravioleta, a la intemperie, al impacto (10 a 20 veces más que el vidrio), al envejecimiento. Por otro lado, es un excelente aislante térmico y acústico, es liviano (sólo un poco más pesado que el agua); se puede rayar, fácilmente, como el aluminio; no emite gases tóxicos al entrar en combustión; es fácilmente moldeable. Finalmente, es en general resistente al ataque de muchos compuestos, aunque es sensible a Acetato de etilo, acetona, ácido acético, ácido sulfúrico, alcohol amílico, benzol, butanol, diclorometano, triclorometano (Acrílico, 2019)

4) Construcción y diseño.

a. Construcción.

Una vez establecida la idea se eligió un acople de postura antigravitacional y seguro del brazo-

articulación de la muñeca-mano, para garantizar la apropiada realización de los ejercicios de flexión y extensión, específicamente, como principal objetivo del trabajo, de acuerdo con los rangos saludables de estos dos movimientos, a favor de la rehabilitación funcional de la muñeca, sin presionar el ligamento transverso, promoviendo la desinflamación de los tendones dentro del túnel y, en consecuencia, la liberación del nervio mediano.

El paso siguiente consistió en dibujar a mano alzada un bosquejo del dispositivo, para después, plasmarlo directamente en la construcción, primero y contrario a lo usual que consiste en diseñar por computador y luego construir. Del modelo del todo fue posible comprender la lógica de organización del aparato en su proyección concreta y no abstracta, y de cómo adaptarlo a la conjunción brazo- muñeca-mano, de modo que fuera posible ir acoplando las partes del aparato según los requerimientos para los movimientos de flexión y extensión.

b. Diseño asistido por Autodesk Inventor.

A través de este software se establecieron las medidas a escala real de un prototipo creado, con las siguientes dimensiones:

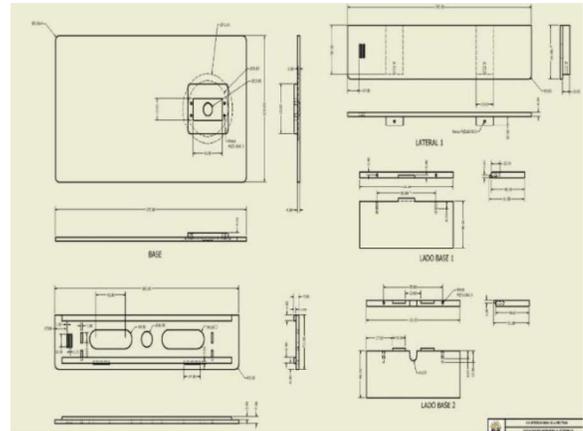
- **Caja principal:**

A esta le corresponde todo el soporte del antebrazo y de la mano, donde está ubicado el servomotor (ver figura 1). Está integrada por:

- ✓ Base - Tapa: 27.5 cm de largo por un grosor de 4 milímetros y de ancho 27 cm por un grosor de 4 milímetros.

- ✓ Laterales de largo: 26.5 cm de largo por un grosor de 3 milímetros y de alto, 5.5cm por un grosor de 3 milímetros.
- ✓ Laterales de ancho: 13.5 cm de largo, por un grosor de 3 milímetros y de alto 4.8 cm por un grosor de 3 milímetros.

Figura 1. Caja principal.



Fuente: Autores

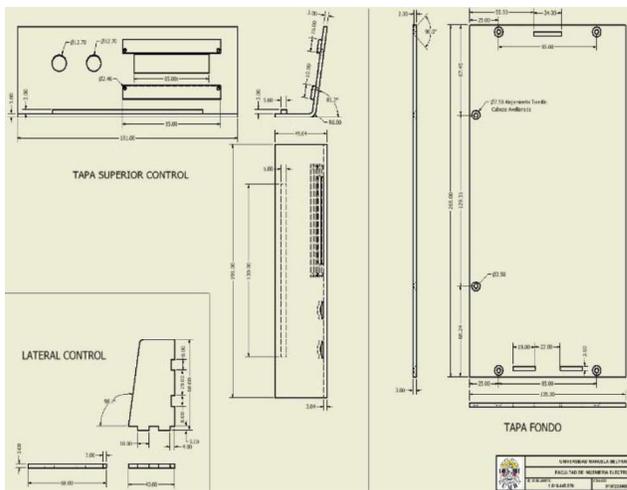
- **Caja de control:**

A esta le corresponde la parte del circuito que une con el soporte de la caja principal (ver figura 2). Está integrada por:

- ✓ Tapa superior: 19.1 cm de largo, por un grosor de 3 milímetros y de ancho 6.8 cm por un grosor de 3 milímetros.
- ✓ Laterales de largo: 19.1 cm de largo, por un grosor de 3 milímetros y de ancho 6.8 cm por un grosor de 3 milímetros.
- ✓ Tapa de Fondo: 26.5 cm de largo por un grosor de 3 milímetros y de ancho 13.5 cm por un grosor de 3 milímetros. Esta es la base inferior del dispositivo.
- ✓ Soporte de antebrazo: mide de largo 15.4 cm con un radio de 7.6cm, por un grosor de 4 milímetros. Le corresponde el soporte del antebrazo para mejor acomodación de este.

- ✓ Soporte de la mano: mide de largo 15 cm y de ancho y de ancho 9 cm por un grosor de 3 milímetros. Le corresponde el soporte de la mano para mejor acomodación de esta.
- ✓ Guía palma - mano: mide de largo de 8.3 cm y de ancho de 7.1 por un grosor de 7 milímetros. Esta es la que le da la posición recta a la mano para el movimiento que se desee realizar.
- ✓

Figura. 2. Caja de control.



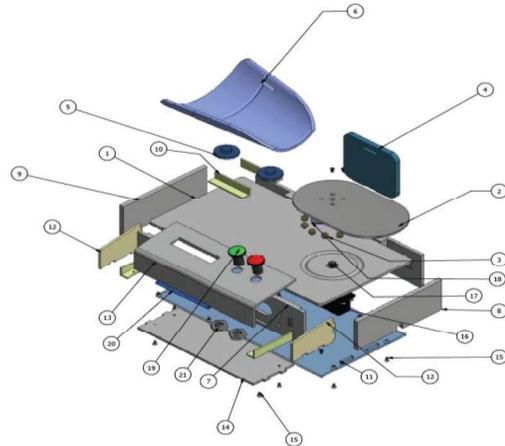
Fuente: Autores

El concepto se diseñó con base en la biomecánica de la muñeca, respecto de los dos sistemas de articulación de la misma, que permiten realizar dos pares de movimientos: flexión – extensión, y la aducción (inclinación hacia el cúbito) – abducción (inclinación hacia el radio).

A partir del modelo Diseño Asistido por Computador (CAD por su sigla en inglés), se validó la estructura y fijación de los elementos que componen el dispositivo, sacando así las medidas reales.

Además, se pudo establecer la vista en explosión del modelo como se muestra en la figura 3:

Figura. 3. Modelo en explosión del dispositivo



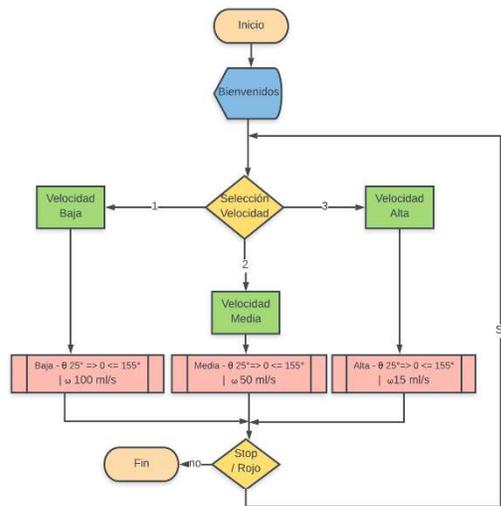
Fuente: Autores

c. Esquema de programa de control

Para la programación se plantea realizar tres tipos de nivel de terapia que el usuario puede elegir a través del menú de selección que contiene:

- Nivel Bajo: produce el movimiento lento con una velocidad de 100 ms por paso.
- Nivel Medio: produce un movimiento con una velocidad de 50 ms por paso.
- Nivel Alto, con una velocidad de 15 ms por paso.

Los valores de los ángulos son predeterminados en el sistema en un rango de 25° a 155° pero configurable por programación si así se requiere. Teniendo en cuenta esta descripción el diagrama de flujo de control (Figura 4) del programa queda de la siguiente manera:

Figura 4. Diagrama de flujo de control

Fuente: Autores

B. Resultados

El mecanismo del prototipo puede generar un movimiento que cumple con las condiciones de diseño establecidos, permitiendo realizar los movimientos de flexión – extensión hasta 65° de amplitud, para tratar el Síndrome del Túnel del Carpo, mediante terapia física pasiva de mano.

La programación realizada para controlar el movimiento del servomotor permite realizar tres tipos de secuencia de terapia pasiva, y de una manera sencilla se pueden programar los valores de los ángulos máximos para cada movimiento, estableciendo grados de ritmo entre bajo, medio y alto. También pueden definirse el número de repeticiones para realizar una sesión de terapia más acorde con la necesidad de la persona.

El dispositivo puede realizar la terapia de la mano derecha y de la izquierda ya que no tiene una condición específica que defina este parámetro. Por otro lado, al tener variables en la configuración, las rutinas no son exclusivas para personas diagnosticadas médicamente con STC

o que tengan sospecha de padecerlo (ver figura 5).

Figura 5. Prototipo final.

Fuente: Autores

Discusión

Durante el proceso de diseño del dispositivo se decidió atender específicamente a población con STC cuyo estado de avance de la patología ocasione dolor intenso y limitación de la función de la muñeca. De este modo, el aparato no se enfoca en desarrollar la fuerza en el brazo, mano o muñeca, sino en una terapia pasiva que le facilite los movimientos al paciente, y le generen reeducación y memoria de los rangos de amplitud para mover sus manos, al extender o flexionar.

Por otro lado, teniendo presente que las terapias físicas se atienden por etapas, para el caso del STC, como se explicó en la introducción de este trabajo, los ejercicios atienden los pares antagónicos de movimientos. Se deduce, entonces, del primer párrafo, que el enfoque del

dispositivo está en los movimientos de flexión y extensión para promover la desinflamación de los tendones en el túnel y la liberación del nervio mediano. Esto podría facilitar el avance de la terapia física hacia ejercicios de mayor dificultad.

La propuesta de este trabajo estaba dirigida al diseño por computador de un dispositivo electrónico, pero, al momento de empezar, se encontraron varios obstáculos que, a diferencia de las referencias sobre proyectos similares, orientaron el trabajo hacia la construcción del prototipo, primero, y, posteriormente, al diseño. Iniciar con la construcción resultó importante para crear un aparato que fuera cómodo, tanto en la posición del brazo como de la mano.

Una vez construido el dispositivo, se definieron los parámetros de movimientos que tendría este respecto de la flexión y extensión. ¿Por qué la investigación no partió con los movimientos hacia arriba y hacia abajo o se complementó de esta manera? Pues bien, dentro del desarrollo del trabajo se tuvieron en consideración los ángulos máximos de desplazamiento, las repeticiones y duración de la rutina como variables de acuerdo con la necesidad del paciente, para que el dispositivo pueda ser incorporado a la rehabilitación de sintomatologías similares, en la muñeca.

Lo anterior es, también, importante, porque durante el desarrollo del proyecto fue posible observar que su alcance es mayor dado que no sólo podría atender la patología ya diagnosticada del STC, sino podría prevenirla por su uso en pausas activas, ya que la terapia realizada por el aparato es pasiva, como ya se

explicó, y porque podría usarse como recurso para terapia física en otras patologías de la muñeca.

Por último, resulta necesario mencionar que la programación realizada para controlar los movimientos fue manejada por medio de un servomotor, del cual se realizó un estudio de mercado a fin de encontrar un servomotor adecuado para implementar los movimientos. El servomotor nos permite realizar tres tipos de rutina de rehabilitación pasiva, y los ángulos máximos de desplazamiento de las manos se pueden configurar de una manera sencilla, el número de repeticiones y la velocidad deseada, para permitir autonomía del paciente durante el proceso de rehabilitación.

Conclusiones

La terapia de rehabilitación de muñeca se realiza por etapas y haciendo diferencia entre los pares antagónicos de movimientos: flexión-extensión, aducción-abducción. Al mismo tiempo que se trabaja la fuerza de la articulación. El dispositivo desarrollado en este trabajo atiende específicamente el par de movimientos de flexión y extensión, pero no desarrolla fuerza, puesto que es de rehabilitación pasiva, es decir para estadios avanzados de STC en los que la muñeca ha perdido un alto porcentaje de funcionalidad.

La idea de la creación, pretendía que fuera para ser de uso diario, doméstico y confortable para ayudar al paciente a tener una rehabilitación más autónoma y en casa, lo que reduce costos de desplazamiento y la

congestión que, a una persona enferma, y a sus acompañantes les causa el proceso.

Este dispositivo permite realizar un proceso de rehabilitación tanto de ambas manos, izquierda y derecha, dado a que no tiene una condición específica, objetivo no descrito, pero logrado intencionalmente desde el inicio del trabajo, lo que extendería el uso del prototipo no con exclusividad para pacientes con STC, sino con aquellos que requieran o necesiten rehabilitación o prevención de una patología específica que involucre las muñecas y a sus movimientos de flexión y extensión.

La mixtura desarrollada dentro de la creación del prototipo, se logró bajo la integración de elementos electrónicos junto con la idea, la motivación y la necesidad humana de la cual surgió, a través de un dispositivo que pueda atender a la población afectada, mediante un dispositivo fundamentado en una configuración de parámetros que permitan extender el uso del mismo a pacientes con condiciones y lesiones en la muñeca.

Referencias

- [1]. Acrílico-y-policarbonato.com, (2019). El acrílico. Recuperado de: <http://www.acrilico-y-policarbonato.com/acrilico.html>
- [2]. Arduino. Arduino Mega 2560, (2019) Recuperado de: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>
- [3]. Asociación de fisioterapeutas españoles – AFE. (s.f.). Síndrome del túnel del carpo. Recuperado de: <http://www.aefi.net/Fisioterapiaysalud/Sindrometuneldecarpo.aspx>
- [4]. Ávila, P. (2018). Desarrollo de un prototipo automático para rehabilitación de muñeca con dos grados de libertad. (Tesis de pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- [5]. Destarac, M. (S.f.). Exoesqueletos comerciales para la rehabilitación del brazo. Recuperado de: <https://marieandrestarac.wordpress.com/2016/09/07/exoesqueletos-comerciales-para-la-rehabilitacion-del-brazo/>
- [6]. D. Williams, H.I. Krebs, N. Hogan. (2001). A robot for wrist rehabilitation. Estudio de la universidad de Cambridge, Departamento de Ingeniería Mecánica del Instituto Técnico de Massachusetts – MIT, Cambridge.
- [7]. García G., Antony. (2016) ¿Qué es y cómo funciona un servomotor? Recuperado de: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>
- [8]. Gómez, J., Moreno J., Gil, G., Becerra, J y Orozco, C. (2016). Rehabilitación de la mano con órtesis robóticas. Revista Colombiana de Medicina Física y Rehabilitación: revistacmfr.org, vol. 26, pp. 174 – 179, Manizales, Colombia.
- [9]. Hocoma. Armeo Spring Therapy. Recuperado de: www.hocoma.com

- [10]. Infouruguay. Historia del acrílico. Recuperado de: <https://www.infouruguay.com.uy/HISTORIA-ACRILICO.htm> (Sin fecha)
- [11]. Internet medical publishing, (2015). Guía de práctica clínica del síndrome del túnel carpiano. Recuperado de: <https://bit.ly/38FTZQz>
- [12]. Khokhar, Z., Xiao, Z., Sheridan C., y Menon, C. (S.f.). A Novel Wrist Rehabilitation/Assistive Device. (Tesis de pregrado). Universidad Simon Fraser, Burnby BC, Canadá.
- [13]. Medicaexpo. Manovo Power. Recuperado de: <http://www.medicaexpo.es/prod/hocoma/product-68750-773908.html>
- [14]. Medina G., C.E., Benet R., M. y Marco M., F. (2016). El complejo articular de la muñeca: aspectos anatófisiológicos y biomecánicos, características, clasificación y tratamiento de la fractura distal del radio. *MediSur*, 14(4), pp. 430 – 446.
- [15]. Motorika. What makes the ReoGo unique? Recuperado de: www.motorika.com
- [16]. Naylamp Mechatronics. Servo MG996R 11Kg. Recuperado de: <https://naylampmechatronics.com/servomotores/343-servo-mg996r-11kg.html> (Sin fecha)
- [17]. Rinderknecht, M. (2012). Device for a novel hand and wrist Rehabilitation Strategy for Stroke Patients Based on Illusory Movements Induced by Tendon Vibration. Investigación del laboratorio de sistemas robóticos, de la Escuela Politécnica Federal, presentado en 16ª Conferencia Electrónica del Mediterráneo de Escuela Politécnica Federal, Lausanne, Francia. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6196579>
- [18]. Rueda, M.C. (2019) Síndrome del Túnel Carpiano. (Informe Técnico). Ministerio de Salud y Protección Social, Bogotá, Colombia, Recuperado de: <https://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/SINDROME%20TUNEL%20DE%20CARPIO.pdf>
- [19]. Secretaría Distrital de Integración Social: Subdirección de Gestión y Desarrollo de Talento Humano, Subsistema de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2015). *Desórdenes músculo esqueléticos*. (Informe Técnico). Bogotá, Colombia.
- [20]. Tecnología. Servomotores, (2019) Recuperado de: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/servomotor.html>
- [21]. Velásquez, C. (2010). Guía de práctica clínica, Síndrome del Túnel del Carpo (Documento de apoyo). Medellín, Colombia. Recuperado de: <file:///C:/Users/Lily/Downloads/DA0400-142-V1.pdf>